



南 华 大 学
UNIVERSITY OF SOUTH CHINA

城建环境与节能实践教学中心

实
践
教
学
大
纲

二〇一二年三月

目 录

1. 《给排水工程实验 1、2》实验教学大纲.....	3
2. 《给排水实验 3、4》实验教学大纲.....	34
3. 《环境工程实验 1》实验教学大纲.....	52
4. 《环境工程实验 2》实验教学大纲.....	84
5. 《环境工程实验 3》实验教学大纲.....	103
6. 《热工流体实验 1、2、3》实验教学大纲.....	116
7. 《建环专业实验 1、2、3》实验教学大纲.....	140
8. 《给水排水专业认识实习》实践教学大纲.....	161
9. 《环境工程专业认识实习》实践教学大纲.....	163
10. 《建筑环境与设备工程专业认识实习》实践教学大纲.....	166
11. 《给水排水专业生产实习》实践教学大纲.....	169
12. 《环境工程专业生产实习》实践教学大纲.....	171
13. 《建筑环境与设备工程专业生产实习》实践教学大纲.....	174
14. 《给水排水专业毕业实习》实践教学大纲.....	177
15. 《环境工程专业毕业实习》实践教学大纲.....	179
16. 《建筑环境与设备工程毕业实习》实践教学大纲.....	182
17. 《给水排水专业毕业设计 1、2》实践教学大纲.....	185
18. 《环境工程专业毕业设计》实践教学大纲.....	188
19. 《建筑环境与设备工程专业毕业设计》实践教学大纲.....	192

1. 《给排水工程实验 1、2》实验教学大纲

Experiment of Water treatment (1, 2)

课程编号：0807050150112, 0807050150222

课程类别：独立开设实验课程

学时：32 学时 **学分：**1

适用对象：给水排水工程专业二年级本科生

先修课程：水分析化学、水处理微生物学、水力学等课程。

一、实验课程的性质与任务

《给排水工程实验 1、2》是一门实践性教学课程，涵盖水分析化学、水力学、水处理微生物学等三门课程的实验教学内容，是培养给水排水高级工程技术人员所必需的实践环节之一。主要任务是通过课堂实践，为解决给水排水工程的实际问题打下基础。通过实验室的严格训练，培养良好的工作态度和严谨细致、实事求是的科学作风。培养学生独立处理问题、分析问题、解决问题的能力，为学习后续课程和将来从事水质分析，给水排水设计，水环境评价及科研工作等打下基础。

二、教学的目的与要求

实验教学目的：培养学生能够规范地掌握水质分析实验必要的基本操作、基本技术和基本技能；熟悉掌握微生物学实验方法与技术，对学生加强理解和掌握微生物理论有直接的影响。无菌操作技能和无菌概念的建立是微生物学实验中最重要内容；掌握一般水力学实验技能和仪器、设备的使用方法，具有一定的解决实验技术问题的能力。

培养学生的实验动手能力、综合分析问题和解决实际问题的能力、严谨的科学态度及进行科学实验的能力。学生的动手能力、使学生熟悉本学科常用分析仪器和主要设备使用方法，能正确记录，进行数据处理和有关计算，并写出完整的实验报告。实验教学的要求如下：

(1) 实验前必须认真阅读实验教材及有关的参考书，了解实验目的要求，理解实验基本原理，熟悉实验内容，预习实验仪器的使用方法和注意事项，按要求写好预习报告。

(2) 规范并熟练掌握实验的基本操作和基本基本技能。

(3) 能正确处理实验数据、解释实验现象、分析实验成果及编写实验报告的能力，具有独立思考和独立工作的能力；

(4) 具有实事求是的科学态度，严谨细致的工作作风相互协作的团队精神，勇于开拓的创新意识和爱护国家财产的良好风尚。

三、考核方式及办法：

本实验课程考核分为三部分：一是实验前预习(含预习报告)，学生明确实验目的、实验原理、实验内容和基本操作要求。实验时，经指导老师检查认可后，才能开始做实验，占总成绩的 10%；二是实验操作过程考查，包括实验态度，实验动手能力、综合分析问题和解决实际问题的能力、仪器设备使用的熟悉程度；原始数据正确记录，占总成绩的 60%；三是考查能否写出完整的实验报告，进行数据处理和有关计算，并及时上交实验报告，占总成绩的 30%。

四、实验项目名称与学时分配：

实验项目按属性分为基础类模块、环境类模块和节能类模块。《给排水工程实验 1、2》实验项目属基础类模块。

《给排水工程实验 1》实验安排一览表

序号	实验项目名称	学时	实验要求	实验类型	分组人数	所属模块
1	静水压强实验	1	必修	验证	4	基础类
2	动量方程实验	2	必修	验证	4	
3	雷诺实验	2	必修	验证	4	
4	文丘里流量计实验	1	必修	验证	4	
5	圆管局部阻力实验	2	必修	验证	4	
6	圆管沿程水头损失实验	1	必修	验证	4	
7	孔口和管嘴实验	1	必修	验证	4	

《给排水工程实验 2》实验安排一览表

序号	实验项目名称	学时	实验要求	实验类型	分组人数	实验模块	
8	水中碱度的测定实验	2	必修	验证	2	基础类	
9	水质指标测定	水硬度的测定	2	必修	综合		2
10		水中氯离子的测定	2	必修			
11	校园池塘水质指标测定及水质评价	化学需氧量	3	必修	设计		2
12		水中 pH 值的测定	1	必修			
13	邻二氮菲吸收光谱法测定水中的铁	2	必修	验证	2		
14	光学显微镜的操作及微生物形态观察	2	必修	验证	2		
15	微生物细胞的测量与计数	2	必修	验证	2		

16	培养基的配制与灭菌	2	必修	验证	2
17	土壤微生物的稀释、分离、接种与培养	2	必修	综合	2
18	细菌的简单染色与革兰氏染色	2	必修	验证	2

五、实验项目的具体内容：

实验一 静水压强实验

1. 实验目的

- 1) 通过实验加深对水静力学基本方程物理意义的理解，加深理解位置水头、压强水头及测管水头的概念。
- 2) 验证静止液体中，不同点对于同一基准面的测压管水头为常数。
- 3) 实测静水压强，掌握静水压强的测量方法。
- 4) 观察真空现象，加深对真空压强、真空度的理解。
- 5) 测定油的重度。

2. 实验原理

根据流体平衡规律，在重力场中静止液体的压强分布可表示为： $z+p/\rho=c$ 。

利用液体的平衡规律，可知连通的静止液体区域中任何一点的压强，包括测点处的压强。这就是测压管量测静水压的原理。

压强水头 p/ρ 和位置水头 z 之间互相转换，决定了液柱高和压差的对应关系。在压差相同时，不同的液体对应不同的液柱高。用这个原理可以测定液体的重度。

3. 需用的仪器、试剂或材料

静水压强试验装置。

4. 实验步骤

- 1) 打开通气孔，使密封水箱与大气相通，则密封箱中表面压强 p_0 等于大气压强 p_a 。
- 2) 关闭通气孔，将开口筒向上提升到一定高度。水由开口筒流向密封箱，并影响其它测压管。密封箱中空气的体积减小而压强增大。
- 3) 如果将开口筒向下降到一定高度，使其水面低于密封箱中的水面，则密封箱中的水流向开口筒。
- 4) 按照以上原理，可以求得密封箱液体中任一点 A 的绝对压强 p'_A 。
- 5) 由于连通管和 U 形管反映着同一的压差，故有：

$$p_0 - p_a = \gamma(\nabla_3 - \nabla_2) = \gamma'(\nabla_5 - \nabla_4) = \gamma(\nabla_7 - \nabla_6)$$

由此可以求得另一种深信体的容重 γ' ：

5. 教学方式

先预习实验并写出预习报告，教师讲解实验原理、步骤和实验要求，尤其讲述实验

中应注意的问题，最后学生自己进行实验。

实验二 动量方程实验

1. 实验目的

- 1) 测定管嘴喷射水流对平板或曲面板所施加的冲击力。
- 2) 将测出的冲击力与用动量方程计算出的冲击力进行比较，加深对动量方程的理解。

2. 实验原理

应用力矩平均原理，求射流对平板的冲击力。

$$\text{力矩平衡方程: } FL = GL_1, \quad F = \frac{GL_1}{L}$$

式中： F —射流作用力； L —作用力力臂；

G —砝码重量； L_1 —砝码力臂。

恒定总流的动量方程为 $\sum F = \rho Q(\alpha'_2 \vec{V}_2 - \alpha'_1 \vec{V}_1)$ 。

若令 $\alpha'_2 = \alpha'_1 = 1$ ，且只考虑其中水平方向作用力，则可求得射流对平板和曲面的作用力公式为： $F = \rho QV(1 - \cos \alpha)$ 。

式中： Q —管嘴的流量； V —管嘴流速； α —射流射向平板或曲面板后的偏转角度。

3. 需用的仪器、试剂或材料

动量方程实验装置、砝码、秒表和称重装置。

4. 实验步骤

- 1) 记录管嘴直径和作用力力臂。
- 2) 安装平板，调节平衡锤位置，使杠杆处于水平状态（杠杆支点上的气泡居中）。
- 3) 启动抽水机，使水箱充水并保持溢流。添加砝码并调节砝码位置，使杠杆处于水平状态，达到力矩平衡。记录砝码质量和力臂 L_1 。
- 4) 用体积法测量流量 Q 用以计算 $F_{\text{理}}$ 。
- 5) 关闭抽水机，将水箱中水排空，砝码从杠杆上取下，结束实验。

5. 教学方式

先预习实验并写出预习报告，教师教师讲解实验原理、步骤和实验要求，尤其讲述实验中应注意的问题，最后学生自己进行实验。

实验三 雷诺实验

1. 实验目的

- 1) 观察层流与紊流两种流态及其过渡状态时的流动现象。
- 2) 区分两种不同流态的特征及其产生的条件。

2. 实验原理

液体在运动时，存在着两种根本不同的流动状态。当流速较小时，粘滞力占主导地位，各流层的液体质点有条不紊地运动，互不混杂，这种型态的流动叫做层流；当流速较大时，惯性力占主导地位，各流层或各微小流束上的液体质点形成涡体，并脱离原流层，互相混掺，

杂乱无章，这种型态的流动叫做紊流。

3. 需用的仪器、试剂或材料

雷诺实验流态演示仪，它由水箱、玻璃管及注入有色液体的部件组成，实验时，只要微微打开泄水阀及有色液小阀，即可显示出层流或紊流。

4. 实践步骤或环节

- 1) 打开进水阀向水箱充水，使水箱水位保持恒定；
- 2) 微微打开泄水阀及有色液阀门，适当调节泄水阀，使管中的红色液体呈一条直线，不与周围的水流混杂，即为层流。
- 3) 逐渐开大泄水阀门，则管中的红色液体呈波形线状，属于过渡状态。
- 4) 再继续开大泄水阀，管中有色液体由波状形变成微小涡体，并扩散到整个管内，且与周围水体掺混，即为紊流。
- 5) 以相反程序，即泄水阀门开度从大到小，可以重现上述几种流动状态；
- 6) 演示结束，关闭进水阀及有色液阀门。

5. 教学方式

先预习实验并写出预习报告，教师讲解实验原理、步骤和实验要求，尤其讲述实验中应注意的问题，最后学生自己进行实验。

实验报告应包括以下内容：实验题目、目的要求、主要试剂及仪器、简要原理、数据处理结果综合报告(以列表形式，包括与计算结果有关的数据)、问题讨论。

实验四 文丘里流量计实验

1. 实验目的

- 1) 了解文丘里流量计和孔板流量计的原理及其实验装置。
- 2) 绘出压差与流量的关系曲线，确定文丘里流量计和孔板流量计的流量系数 μ 值。

2. 实践内容或原理

文丘里流量计是在管道中常用的流量计，它包括收缩段、喉管、扩散段三部分。由于喉管过水断面的收缩，该断面水流动能加大，势能减小，造成收缩段前后断面压强不同而产生的势能差。此势能差可由压差计测得。

孔板流量计原理与文丘里流量计相同，根据能量方程以及等压面原理可得出不计阻力作用时的文丘里流量计（孔板流量计）的流量计算公式： $Q_{理} = K\sqrt{\Delta h}$

$$\text{其中： } K = \frac{\pi}{4} \frac{D^2 d^2}{\sqrt{D^4 - d^4}} \sqrt{2g}$$

根据实验室设备条件，管道的实测流量 $Q_{实}$ 由体积法测出。

在实际液体中，由于阻力的存在，上式应予以修正，实测流量与理想液体情况下的流量之比称为流量系数，即 $\mu = \frac{Q_{实}}{Q_{理}}$

3. 需用的仪器、试剂或材料

三管仪实验装置。

4. 实验步骤

1) 熟悉仪器，记录管道直径 D 和 d 。

2) 启动抽水机，打开进水开关，使水进入水箱，并使水箱保持溢流，使水位恒定。

3) 检查尾阀 K ，压差计液面是否齐平，若不平，则需排气调平。

4) 调节尾阀 K ，依次增大流量和依次减小流量。量测各次流量相应的压差值。共做 3 次。用体积法测量流量。

5. 教学方式

先预习实验并写出预习报告，教师讲解实验原理、步骤和实验要求，尤其讲述实验中应注意的问题，最后学生自己进行实验。

实验报告应包括以下内容：实验题目、目的要求、主要试剂及仪器、简要原理、数据处理结果综合报告(以列表形式，包括与计算结果有关的数据)、问题讨论。

实验五 圆管局部阻力实验

1. 实验目的

1) 掌握测定管道局部水头损失系数 ζ 的方法。

2) 将管道局部水头损失系数的实测值与理论值进行比较。

3) 观测管经突然扩大时旋涡区测压管水头线的变化情况和水流情况，以及其他各种边界突变情况下的测压管水头线的变化情况。

2. 实验原理

由于边界形状的急剧改变，水流就会与边界分离出现旋涡以及水流流速分布的改组，从而消耗一部分机械能。单位重量液体的能量损失就是水头损失。边界形状的改变有水流断面的突然扩大或突然缩小、弯道及管路上安装阀门等。

局部水头损失常用流速水头与与系列的乘积表示。
$$h_j = \zeta \frac{v}{2g}$$

管道局部水头损失目前仅有突然扩大可采用理论分析，并可得出足够精确的结果。其他情况则需要用实验方法测定 ζ 值。突然扩大的局部水头损失可应用动量方程与能量方程及连续方程联合求解得到如下公式：

$$h_j = \zeta_2 \frac{v_2^2}{2g}, \zeta_2 = \left(\frac{A_2}{A_1} - 1\right)^2$$

$$h_j = \zeta_1 \frac{v_1^2}{2g}, \zeta_1 = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2$$

式中， A_1 和 v_1 分别为突然扩大上游管段的断面面积和平均流速； A_2 和 v_2 分别为突然扩大下游管段的断面面积和平均流速。

3. 需用的仪器、试剂或材料

三管仪局部阻力系数实验装置

4. 实验步骤

- 1) 熟悉仪器, 记录管道直径 D 和 d 。
- 2) 检查各测压管的橡皮管接头是否接紧。
- 3) 启动抽水机, 打开进水阀门, 使水箱充水, 并保持溢流, 使水位恒定。
- 4) 检查尾阀 K 全关时测压管的液面是否齐平, 并保持溢流, 使水位恒定。
- 5) 慢慢打开尾阀 K , 使流量在测压管量程范围内最大, 待流动稳定后, 记录测压管液面标高, 用体积法测量管道流量。
- 6) 调节尾阀改变流量, 重复测量 3 次。

5. 教学方式

先预习实验并写出预习报告, 教师讲解实验原理、步骤和实验要求, 尤其讲述实验中应注意的问题, 最后学生自己进行实验。

实验报告应包括以下内容: 实验题目、目的要求、主要试剂及仪器、简要原理、数据处理结果综合报告(以列表形式, 包括与计算结果有关的数据)、问题讨论。

实验六 圆管沿程损失实验

1. 实验目的

- 1) 掌握测定管道沿程水头损失系数 λ 的方法。
- 2) 绘制沿程水头损失系数 λ 与雷诺数 Re 的对数关系曲线并与莫迪图进行比较, 加深对沿程水头损失系数 λ 的理解。

2. 实验原理

对一等直径管道中的恒定水流应用能量方程可得: $h_f = (z_1 + p_1/\gamma) - (z_2 + p_2/\gamma)$

由沿程水头损失计算公式: $h_f = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g}$, 则沿程水头损失系数 λ 为: $\lambda = \frac{h_f}{\frac{l}{d} \frac{v^2}{2g}}$

一般认为 λ 与相对粗糙度 $\frac{\Delta}{d}$ 及雷诺数 Re 有关。即 $\lambda = f(\frac{\Delta}{d}, Re)$ 。

3. 需用的仪器、试剂或材料

三管仪沿程阻力系数实验装置。

4. 实验步骤

- 1) 熟悉实验设备, 记录有关常数。
- 2) 实验管道排气及其连通管内排气。
- 3) 检查尾阀全关时, 压差计的液面是否齐平, 若不齐, 则若排气调平。
- 4) 打开尾阀和供水阀以及旁通阀, 使流量达到最大, 待水流稳定后记录电子压差计读数、水温和量测其流量, 流量用体积法量测。
- 5) 逐渐关闭供水阀, 依次减小流量, 用电子压差计来量测相应的压差值。当压差在 20cm 范围内通过调节尾阀来调节流量。用水压差计量测相应的压差值, 每次均需用体积法量测流量, 共做 3 次以上。
- 6) 用温度计测记本次实验的水温 t 。并查得相应的运动粘度 ν 值。

5. 教学方式

先预习实验并写出预习报告，教师讲解实验原理、步骤和实验要求，尤其讲述实验中应注意的问题，最后学生自己进行实验。

实验报告应包括以下内容：实验题目、目的要求、主要试剂及仪器、简要原理、数据处理结果综合报告(以列表形式，包括与计算结果有关的数据)、问题讨论。

实验七 孔口管嘴实验

1. 实验目的

- 1) 观察各种典型孔口和管嘴出流时的流动现象与圆柱形管嘴内的局部真空现象。
- 2) 量测孔口和管嘴出流时的阻力系数、收缩系数、流速系数 和流量系数。

2. 实验原理

1) 薄壁孔口出流

非淹没出流的收缩断面上相对压强均为零。对上游断面 1-1 和收缩断面 C-C 运用能量方程即可得到收缩断面流速。

$$v_c = \frac{1}{\sqrt{\alpha_c + \zeta}} \sqrt{2gH_0} = \phi \sqrt{2gH_0}$$

流量公式为： $Q = v_c A_c = \phi A_c \sqrt{2gH} = \phi \varepsilon A \sqrt{2gH} = \mu A \sqrt{2gH}$

式中： $\mu = \varepsilon \phi$ 称为流量系数。

小孔口淹没出流的相应公式只需将作用总水头改成孔口上下游水位差即可。

2) 圆柱形外伸管嘴出流

管嘴出流的局部损失由两部分组成，即孔口的局部水头损失及收缩断面后扩展产生的局部损失，水头损失大于孔口出流。但是管嘴出流为满流，收缩系数为 1.0，因此流量系数仍比孔口大，其出流公式为 $v = \phi_x \sqrt{2gH}$ ， $Q = \mu_x A \sqrt{2gH} = \phi_x A \sqrt{2gH}$ 。

管嘴出流流量系数的加大也可以从管嘴收缩断面处存在的真空来解释，由于收缩断面在管嘴内，压强要比孔口出流时的零压低，必然会提高吸出流量的能力

3. 需用的仪器、试剂或材料

孔口管嘴实验装置。

4. 实验步骤

记录有关常数，如各种孔口与管嘴的直径 d，出流中心高程等。

观察分析各种薄壁孔口（圆、方、三角形等）出流水股的收缩现象，观察和量测圆柱形管嘴。

出流时的真空高度 hv 值，并比较圆柱形与圆锥形管嘴（同样内径 d）的泄流情况。用卡钳量测孔口出流收缩断面直径，应多测几次以取其平均值为 dc，算出收缩断面面积 Ac。

用测压管量测出相应各孔口及管嘴的水头 H 。

用磅秤量测通过孔口与管嘴出流的流量，将初始质量、终了质量、净质量和历时计入表中，并算出体积流量 Q 。以上实验应重复三次。

5. 教学方式

先预习实验并写出预习报告，教师讲解实验原理、步骤和实验要求，尤其讲述实验中应注意的问题，最后学生自己进行实验。

实验报告应包括以下内容：实验题目、目的要求、主要试剂及仪器、简要原理、数据处理结果综合报告(以列表形式，包括与计算结果有关的数据)、问题讨论。

实验八 水中碱度的测定实验

1. 实验目的

- (1) 掌握直接法和间接法配制酸碱标准溶液；
- (2) 掌握水中碱度成分的判断及计算方法。
- (3) 掌握水中总碱度的测定及计算方法；

2. 实验内容

- (1) 直接法配制 Na_2CO_3 标准溶液；
- (2) 间接法配制 HCl 标准溶液的；
- (3) 采用连续滴定法判别水中碱度的成分并计算碱度大小。

3. 需用的仪器、试剂或材料

- (1) 滴定管、移液管、容量瓶、洗瓶及洗耳球等常规仪器；
- (2) 基准 Na_2CO_3 ；浓 HCl ($\rho = 1.19 \text{ g/mL}$)；酚酞指示剂；甲基橙指示剂。

4. 实验步骤

- (1) 配置碳酸钠标准溶液。
- (2) 标定盐酸标准溶液浓度。
- (3) 取水样，加入 4 滴酚酞指示剂，摇匀。若溶液无色，不需用 HCl 标准溶液滴定，请按步骤 (4) 进行。若加酚酞指示剂后溶液变为红色，用 HCl 标准溶液滴定至红色刚刚退为无色，记录 HCl 标准溶液的用量 P 。
- (4) 在上述锥形瓶中，继续滴入 1—2 滴甲基橙指示剂，摇匀。用 HCl 标准溶液滴定至溶液由桔黄色刚刚变为桔红色为止。记录 HCl 标准溶液用量 M (平行滴定三次)。
- (5) 计算：总碱度；根据 T 、 P 之间的关系确定水样碱度的组成，分别计算各种成分碱度的大小。

5. 教学方式

学生分组实验，教师现场指导。

实验报告应包括以下内容：实验题目、目的要求、主要试剂及仪器、简要原理、数据处理结果综合报告(以列表形式，包括与计算结果有关的数据)、问题讨论。

实验九 水硬度的测定

1. 实验目的

- (1) 掌握间接法配制 EDTA 标准溶液和用 CaCO_3 基准物质进行标定的方法;
- (2) 掌握水中硬度及钙离子的测定方法, 根据测定数据进行有关计算。

2. 实验内容

- (1) 直接法配制 CaCO_3 标准溶液;
- (2) 间接法配制 EDTA 标准溶液的;
- (3) 水中总硬度及钙离子的测定。

3. 需用的仪器、试剂或材料等

- (1) 滴定管、移液管、容量瓶、洗瓶及洗耳球等常规仪器;
- (2) 氨·氯化铵缓冲溶液、铬黑 T、EDTA 标准溶液、 CaCO_3 等。

4. 实践步骤

- (1) EDTA 溶液的标定
- (2) 水的总硬度测定: 以铬黑 T 指示剂, 在中性的条件下用 EDTA 标准溶液滴定至溶液由酒红色转变为蓝色, 即为终点, 记录 EDTA 溶液的用量(平行滴定三次)。
- (3) 水的钙硬度测定: 以铬黑 T 指示剂, 用氢氧化钠调节水样 pH 值为 12~13, 用 EDTA 标准溶液滴定至溶液由酒红色转变为蓝色, 即为终点, 记录 EDTA 溶液的用量(平行滴定三次)。
- (4) 计算: 总硬度; 钙硬度; 镁硬度。

5. 教学方式

学生分组实验, 教师现场指导。

实验报告应包括以下内容: 实验题目、目的要求、主要试剂及仪器、简要原理、数据处理结果综合报告(以列表形式, 包括与计算结果有关的数据)、问题讨论。

实验十 水中氯离子的测定

1. 实验目的

- (1) 掌握配制 AgNO_3 标准溶液;
- (2) 掌握硝酸银滴定法测定水中氯离子的测定方法。

2. 实验内容

- (1) AgNO_3 标准溶液的配制与标定;
- (2) 水中氯离子的测定。

3. 需用的仪器、试剂或材料

- (1) 滴定管、移液管、容量瓶、洗瓶及洗耳球等常规仪器;
- (2) AgNO_3 、 NaCl 、10% K_2CrO_4 。

4. 实验步骤

(1) 硝酸银溶液的标定; 0.1mol/L AgNO₃ 溶液的标定 准确称取 0.5~0.65 克基准 NaCl, 置于小烧杯中, 用蒸馏水溶解后, 转入 100ml 容量瓶中, 加水稀释至刻度, 摇匀。准确移取 25.00ml NaCl 标准溶液注入锥形瓶中, 加入 25ml 水, 加入 1ml 5%K₂CrO₄, 在不断摇动下, 用 AgNO₃ 溶液滴定至呈现砖红色即为终点, 平行测定三份, 记录数据。

(2) 试样分析: 吸取 50ml 自来水样 3 份于 250ml 容量瓶中, 加入 1ml 5%K₂CrO₄, 在不断摇动下, 用 AgNO₃ 溶液滴定至呈现砖红色即为终点, 平行测定三份, 记录数据。

(3) 计算: 氯离子浓度

5. 教学方式

学生分组实验, 教师现场指导。

实验报告应包括以下内容: 实验题目、目的要求、主要试剂及仪器、简要原理、数据处理结果综合报告(以列表形式, 包括与计算结果有关的数据)、问题讨论。

实验十一 化学需氧量测定

一、实验目的和要求

1. 掌握容量法、库仑滴定法测定化学需氧量的原理和技术, 熟悉库仑滴定仪的原理和操作方法。

2. 复习有机污染综合指标的含义及测定方法。

二、重铬酸钾法 (COD_{Cr})

1. 原理

在强酸性溶液中, 准确加入过量的重铬酸钾标准溶液, 加热回流, 将水样中还原性物质 (主要是有机物) 氧化, 过量的重铬酸钾以试亚铁灵作指示剂, 用硫酸亚铁铵标准溶液回滴, 根据所消耗的重铬酸钾标准溶液量计算水样化学需氧量。

2. 仪器

1) 250mL 全玻璃回流装置。如取水样在 30mL 以上, 用 500mL 全玻璃回流装置。

2) 加热装置 (电炉)。

3) 5mL 或 50mL 酸式滴定管、锥形瓶、移液管、容量瓶等。

3. 试剂

1) 重铬酸钾标准溶液 ($c(1/6K_2Cr_2O_7)=0.2500\text{mol/L}$): 称取预先在 120 度烘干 2 小时的基准或优质纯重铬酸钾 12.258g 溶于水中, 移入 1000mL 容量瓶内, 稀释至标线, 摇匀。

2) 试亚铁灵指示液: 称取 1.485g 邻菲啉 ($C_{12}H_8N_2 \cdot H_2O$)、0.695g 硫酸亚铁 ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) 溶于水中, 稀释至 100mL, 贮于棕色瓶内。

3) 硫酸亚铁铵标准化溶液 [$c(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ 约等于 0.1mol/L]: 称取 39.5g 硫酸亚铁铵溶于水中, 边搅拌边缓慢加入 20mL 浓硫酸, 冷却后移入 1000mL 容量瓶中, 加水稀释至标线, 摇匀。临用前, 用重铬酸钾标准溶液标定。

标定方法: 准确吸取 10.00mL 重铬酸钾标准溶液于 500mL 锥形瓶中, 加水稀释至 110mL

左右，缓慢加入 30mL 浓硫酸，混匀。冷却后，加入 3 滴试亚铁灵指示液（约 0.15ml），用硫酸亚铁铵溶液滴定，溶液的颜色由黄色经蓝绿色

$$c = (0.2500 \cdot 10.00) / V$$

式中 c ——硫酸亚铁铵标准溶液的浓度，mol/L；

V ——硫酸亚铁铵标准溶液的用量，ml。

4、硫酸-硫酸银溶液：于 500mL 浓硫酸中加入 5g 硫酸银。放置 1—2 天，不时摇动使其溶解。

5、硫酸汞：结晶或粉末。

4.测定步骤

1) 取 20.00mL 混合均匀的水样（或适量水样稀释至 20.00ml）置于 250mL 磨口的回流锥形瓶中，准确加入 10.00mL 重铬酸钾标准溶液及数粒小玻璃珠或沸石，连接摇动锥形瓶使溶液混匀，加热回流 2 小时（自开始沸腾时计时）。

对于化学需氧量高的废水样，可先取上述操作所需体积 1/10 的废水样和液显绿色，再适当减少废水取样量，直至溶液不变绿色为止，从而确定废水样分析时应取用的体积。稀释时，所取废水样量不得少于 5mL，如果化学需氧量很高，则废水样应多次稀释。废水中氯离子含量超过 30mg/L 时，应先把 0.4g 硫酸汞加入回流锥形瓶中，再加 20.00mL 废水（或适量废水稀释至 20.00mL），摇匀。

2) 冷却后，用 90mL 水冲洗冷凝管壁，取下锥形瓶。溶液总体积不得少于 140mL，否则因酸度太大，滴定终点不明显。

3) 溶液再度冷却后，加 3 滴试亚铁灵指示液，用硫酸亚铁铵标准溶液滴定，溶液的颜色由黄色经蓝绿色至红褐色即为终点，记录硫酸亚铁铵标准溶液的用量。

4) 测定水样的同时，取 20.00mL 重蒸馏水，按同样操作步骤作空白试验。记录滴定空白时硫酸亚铁铵标准溶液的用量。

计算

$$\text{COD}_{\text{Cr}} (\text{O}_2, \text{mg/L}) = (V_0 - V_1) \times C \times 8 \times 1000 / V$$

式中： c ——硫酸亚铁铵标准溶液的浓度，mol/L；

V_0 ——滴定空白时硫酸亚铁铵标准溶液用量，ml；

V_1 ——滴定水样时硫酸亚铁铵标准溶液的用量，ml；

V ——水样的体积，ml；

8——氧（1/2O）摩尔质量，g/mol。

注意事项

1、使用 0.4 硫酸汞络合氯离子的最高量可达 40mg，如取用 20.00mL 水样，即最高可络合 2000mg/L 氯离子浓度的水样。若氯离子的浓度较低，也可少加硫酸汞，使保持硫酸汞：氯离子=10：1（W/W）。若出现少量氯化汞沉淀，并不影响测定。

2、水样取用体积可在 10.00—50.00mL 范围内，但试剂用量及浓度需按下表进行相应调

整，也可得到满意的结果。

3、对于化学需氧量小于 50mg/L 的水样，应改用 0.0250mol/L 重铬酸钾标准溶液。回滴时用 0.01mol/L 硫酸亚铁铵标准溶液。

4、水样加热回流后，溶液中重铬酸钾剩余量应为加入量的 1/5—4/5 为宜。

5、用邻苯二甲酸氢钾标准溶液检查试剂的质量和操作技术时，由于每克邻苯二甲酸氢钾的理论 COD_{Cr} 值为 1.176g 所以溶解 0.4251g 邻苯二甲酸氢钾 (HOCC₆H₄COOK) 于重蒸馏水中，转入 1000mL 容量瓶，用重蒸馏水稀释至标线，使之成为 500mg/L 的 COD_{Cr} 标准溶液。用时新配。

6、COD_{Cr} 的测定结果应保留三位有效数字。

7、每次实验时，应对硫酸亚铁铵滴定溶液进行标定，室温较高时尤其应注意其浓度的变化。

三、库仑滴定法

1.原理

水样以重铬酸钾为氧化剂，在 10.2mol/L 硫酸介质中回流氧化后，过量的重铬酸钾用电解产生的亚铁离子作为库仑滴定剂，进行库仑滴定。根据电解产生亚铁离子所消耗的电量，按照法拉第定律计算水样中的 COD 值，即：

$$\text{COD}_{\text{Cr}} (\text{O}_2, \text{mg/L}) = [(Q_{\text{S}} - Q_{\text{M}}) \times 8000] / (96500 \times V)$$

式中：Q_S——标定与加入水样中相同量重铬酸钾溶液所消耗的电量；

Q_M——水样中过量重铬酸钾所消耗的电量；

V——水样的体积，ML；

96500——法拉第常数。

此法简便、快速、试剂用量少，简化了用标准溶液标定标准滴定溶液的步骤，缩短了回流时间，尤其适合工矿企业的工业废水控制分析。但由于其氧化条件与重铬酸钾法不完全一致，必要时，应用重铬酸法测定结果进行核对。

2.仪器

1) 化学需氧量测定仪。

2) 滴定池：150mL 锥形瓶。

3) 电极：发生电极面积为 780mm² 铂片。对电极用铂丝做成，置于底部为融熔玻璃的玻璃管（内充 3mol/L 的硫酸）中。指示电极面积为 300mm² 铂片。参比电极为直径 1mm 钨丝，也置于底部为融熔玻璃的玻璃管（内充饱和硫酸钾溶液）中。

4) 磁搅拌器、搅拌子。

5) 回流装置：34[#] 标准磨口 150mL 锥形瓶的回流装置，回流冷凝管长度为 120mm。

6) 电炉（300W）。

7) 定时钟。

3.试剂

- 1) 重蒸馏水：于蒸馏水中加入少许高锰酸钾进行重蒸馏。
- 2) 重铬酸钾溶液 ($c(1/6K_2Cr_2O_7)=0.050\text{mol/L}$)：称取 2.452g 重铬酸钾溶于 1000mL 重蒸馏水中，摇匀备用。
- 3) 硫酸—硫酸银溶液：于 500mL 浓硫酸中加入 5g 硫酸银，使其溶解，摇匀。
- 4) 硫酸铁溶液 ($c(1/2Fe(SO_4)_3)=1\text{mol/L}$)：称取 200g 硫酸铁溶于 1000mL 重蒸馏水中，混匀。若有沉淀物，需过滤除去。
- 5) 硫酸汞溶液：称取 4g 硫酸汞置于 50mL 烧杯中，加入 20mL 3mol/L 的硫酸，稍加热使其溶解，移入滴瓶中。

4.测定步骤

1、标定值的测定：

- 1) 吸取 12.00mL 重蒸馏水置于锥形瓶中，加 1.00mL 0.050mol/L 重铬酸钾溶液，慢慢加入 17mL 硫酸—硫酸银溶液，混匀。放入 2~3 粒玻璃珠，加热回流。
- 2) 回流 15min 后，停止加热，用隔热板将锥形瓶与电炉隔开，稍冷，由冷凝管上端加入 30mL 重蒸馏水。
- 3) 取下锥形瓶，置于冷水浴中冷却，加 7mL 1mol/L 硫酸铁溶液，摇匀，继续冷却至室温。
- 4) 放入搅拌子，插入电极，开动搅拌器，按下标定开关，进行库仑滴定。一起自动控制重点并显示重铬酸钾相对应的 COD 标定值。将此值存入仪器的拨码盘中。

5) 水样的测定：

(1) COD 值小于 20mg/L 的水样：①准确吸取 10.00mL 水样置于锥形瓶中，加入 1~2 滴硫酸汞溶液及 0.050mol/L 重铬酸钾 1.00mL，加入 17mL 硫酸—硫酸银溶液，混匀。放入 2~3 粒玻璃珠，加热回流。以下操作按照“标定值测定的 (2)、(3)”进行。②放入搅拌子，插入电极并开动搅拌器，按下测定开关，进行库仑滴定，仪器直接显示水样的 COD 值。

如果水样氯离子含量较高，可以少取水样，用重蒸馏水稀释至 10mL，测得该水样的 COD 为：

$$COD_{Cr}(O_2, \text{mg/L}) = 10 \times COD/V$$

式中：V——水样的体积，mL

COD——仪器 COD 读数，mg/L。

(2) COD 值大于 20mg/L 的水样：①吸取 10.00mL 重蒸馏水置于锥形瓶中，加入 1~2 滴硫酸汞溶液和 0.050mol/L 重铬酸钾溶液 3.00mL，慢慢加入 17mL 硫酸—硫酸银溶液，混匀。放入 2~3 粒玻璃珠，加热回流。以下操作按“标定值测定的 (2)、(3)、(4)”进行标定。②准确吸取 10.00mL 水样（或酌量少取，加水至 10mL）置于锥形瓶中，加入 1~2 滴硫酸汞溶液及 0.050mol/L 重铬酸钾溶液 3.00mL，再加 17mL 硫酸—硫酸银溶液，混匀，加入 2~3 粒玻璃珠，加热回流。以下操作按 COD 小于 20mg/L 的水样测定步骤②进行。

5.注意事项

- 1) 对于浑浊及悬浮物较多的水样,要特别注意取样的均匀性,否则会带来较大的误差。
- 2) 对铂电极玷污时,可将其浸入 2mol/L 氨水中浸洗片刻,然后用重蒸馏水洗净。
- 3) 切勿用去离子水配制试剂和稀释水样。
- 4) 对于不同型号的 COD 测定仪,应按照仪器使用说明书进行操作。

实验十二 水中 pH 值的测定

1. 实验的目的

- (1) 加深理解 pH 计测定 pH 值的原理;
- (2) 掌握 pH 计测定 pH 值的使用方法。

2. 实验内容

- (1) 电极安装、仪器校正、定位、测量。
- (2) 水样 pH 值的测定。

3. 需用的仪器、试剂或材料

- (1) 温度计、各种型号酸度计。
- (2) 苯二甲酸盐标准缓冲液、磷酸盐标准缓冲液、硼砂标准缓冲液。

4. 实验步骤

- (1) 仪器校正: 度补偿调节、定位调节、斜率调整。
- (2) 水样的测定:

5. 教学方式

学生分组实验,教师现场指导。

实验报告应包括以下内容:实验题目、目的要求、主要试剂及仪器、简要原理、数据处理结果综合报告(以列表形式,包括与计算结果有关的数据)、问题讨论。

实验十三 邻二氮菲吸收光谱法测定水中的铁

1. 实验目的

- (1) 加深理解 pH 计测定 pH 值的原理;
- (2) 掌握 pH 计测定 pH 值的使用方法。

2. 实验内容(根据实际情况选做)

- (1) 显色络合物的稳定性实验。
- (2) 吸收曲线的绘制。
- (3) 显色剂用量的确定。
- (4) 溶液适宜酸度范围的确定。
- (5) 络合物稳定性的研究。
- (6) 标准曲线的测绘。
- (7) 水样中铁的测定。

3. 需用的仪器、试剂或材料

(1) 移液管、容量瓶、锥形瓶、洗瓶及洗耳球等常规仪器；721 或 722 型分光光度计。

(2) 铁标准溶液、盐酸羟胺、邻二氮菲、乙酸钠、氢氧化钠等。

4. 实验步骤

(1) 显色标准溶液的配制：在序号为 1~6 的 6 只 50 mL 容量瓶中，用吸量管分别加入 0, 0.20, 0.40, 0.60, 0.80, 1.0 mL 铁标准溶液(含铁 $0.1 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$)，分别加入 1 mL $100 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 盐酸羟胺溶液，摇匀后放置 2 min，再各加入 2 mL $1.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 邻二氮菲溶液、5 mL $1.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 乙酸钠溶液，以水稀释至刻度，摇匀。

(2) 吸收曲线的绘制：在分光光度计上，用 1 cm 吸收池，以试剂空白溶液(1 号)为参比，在 440~560 nm 之间，每隔 10 nm 测定一次待测溶液(5 号)的吸光度 A，以波长为横坐标，吸光度为纵坐标，绘制吸收曲线，从而选择测定铁的最大吸收波长。

(3) 显色剂用量的确定：在 7 只 50 mL 容量瓶中，各加 2.0 mL $10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 铁标准溶液和 1.0 mL $100 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 盐酸羟胺溶液，摇匀后放置 2 min。分别加入 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 2.0, 4.0 mL $1.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 邻二氮菲溶液，再各加 5.0 mL $1.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 乙酸钠溶液，以水稀释至刻度，摇匀。以水为参比，在选定波长下测量各溶液的吸光度。以显色剂邻二氮菲的体积为横坐标、相应的吸光度为纵坐标，绘制吸光度—显色剂用量曲线，确定显色剂的用量。

(4) 溶液适宜酸度范围的确定：在 9 只 50 mL 容量瓶中各加入 2.0 mL $10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 铁标准溶液和 1.0 mL $100 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 盐酸羟胺溶液，摇匀后放置 2 min。各加 2 mL $1.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 邻二氮菲溶液，然后从滴定管中分别加入 0, 2.00, 5.00, 8.00, 10.00, 20.00, 25.00, 30.00, 40.00 mL $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaOH 溶液摇匀，以水稀释至刻度，摇匀。用精密 pH 试纸或酸度计测量各溶液的 pH。以水为参比，在选定波长下，用 1 cm 吸收池测量各溶液的吸光度。绘制 A—pH 曲线，确定适宜的 pH 范围。

(5) 络合物稳定性的研究：移取 2.0 mL $10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 铁标准溶液于 50 mL 容量瓶中，加入 1.0 mL $100 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 盐酸羟胺溶液混匀后放置 2 min。2.0 mL $1.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 邻二氮菲溶液和 5.0 mL $1.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 乙酸钠溶液，以水稀释至刻度，摇匀。以水为参比，在选定波长下，用 1 cm 吸收池，每放置一段时间测量一次溶液的吸光度。放置时间：5 min, 10 min, 30 min, 1 h, 2 h, 3 h。

以放置时间为横坐标、吸光度为纵坐标绘制 A—t 曲线，对络合物的稳定性作出判断。

(6) 标准曲线的测绘 以步骤 1 中试剂空白溶液(1 号)为参比，用 1 cm 吸收池，在选定波长下测定 2~6 号各显色标准溶液的吸光度。在坐标纸上，以铁的浓度为横坐标，相应的吸光度为纵坐标，绘制标准曲线。

(7) 铁含量的测定 试样溶液按步骤 1 显色后，在相同条件下测量吸光度，由标准曲线计算试样中微量铁的质量浓度。

5. 教学方式

学生分组实验，教师现场指导。

实验报告应包括以下内容：实验题目、目的要求、主要试剂及仪器、简要原理、数据处

理结果综合报告(以列表形式, 包括与计算结果有关的数据)、问题讨论。

实验十四 光学显微镜的操作及微生物形态观察

1. 实验目的

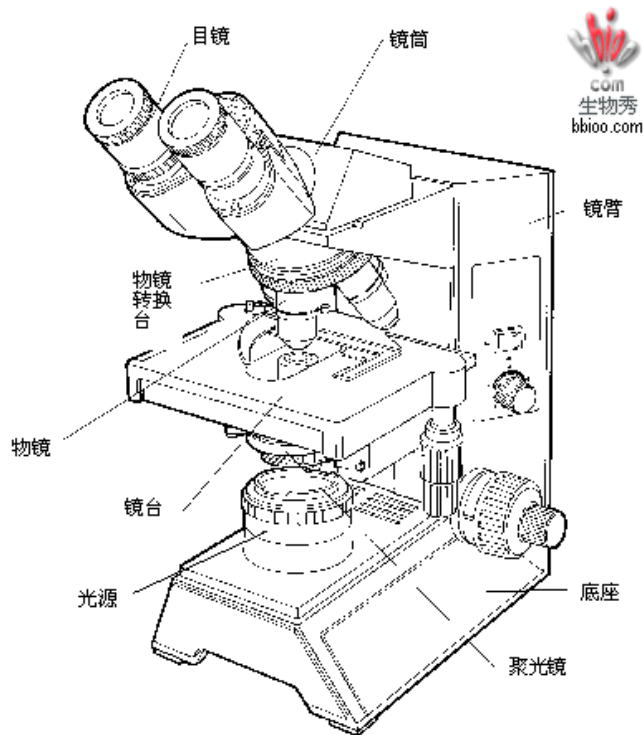
- (1) 了解普通光学显微镜的构造与功能, 学习与掌握显微镜观察微生物的方法。
- (2) 观察细菌、放线菌和蓝细菌的个体形态, 学会绘制微生物的形态结构图。

2. 需用的仪器、试剂:

普通光学显微镜, 各种微生物永久装片, 二甲苯, 拭镜纸

显微镜的基本结构和功能

(1) 显微镜的构造: 普通光学显微镜的构造可分为两大部分: 一为机械装置, 一为光学系统。



显微镜的机械装置: 包括镜座、镜筒、物镜转换器、载物台、推动器、粗动螺旋、微动螺旋等部件。

显微镜的光学系统: 反光镜, 聚光器, 接物镜, 接目镜等组成。反光镜是由一平面和另一凹面的镜子组成, 新近出产的较高档次的显微镜镜座上装有光源, 并有电流调节螺旋, 可通过调节电流大小调节光照强度。

(2) 显微镜的性能

数值孔径: 也叫做镜口率 (或开口率), 简称为 $N.A.$, 在物镜和聚光器上都标有它们的数值孔径, 数值孔径是物镜和聚光器的主要参数, 也是判断它们性能的最重要指标。数值孔径和显微镜的各种性能有密切的关系, 它与显微镜的分辨力成正比, 与焦深成反比, 与镜象

亮度的平方根成正比。数值孔径可用下式表示： $N.A = \sin(\alpha/2)$ ，式中： n —物镜与标本之间的介质折射率； α —物镜的镜口角。所谓镜口角是指从物镜光轴上的物点发出的光线与物镜前透镜有效直径的边缘所张的角度，镜口角 α 总是小于 180° 。因为空气的折射率为1，所以干燥物镜的数值孔径总是小于1，一般为 $0.05\sim 0.95$ ；油浸物镜如用香柏油（折射率为1.515）浸没，则数值孔径最大可接近1.5。虽然理论上数值孔径的极限等于所用浸没介质的折射率，但实际上从透镜的制造技术看，是不可能达到这一极限的。通常在实用范围内，高级油浸物镜的最大数值孔径是1.4。几种物质的介质的折射率如下：空气为1.0，水为1.33，玻璃为1.5，甘油为1.47，香柏油为1.52。

分辨力： D 可用下式表示： $D = \lambda / 2N.A$ 。可见光的波长为 $0.4\sim 0.7$ 微米，平均波长为 0.55 微米。若用数值孔为 0.65 的物镜，则 $D = 0.55 \text{ 微米} / 2 \times 0.65 = 0.42$ 微米。这表示被检物体在 0.42 微米以上时可被观察到，若小于 0.42 微米就不能视见。如果使用数值孔径为 1.25 的物镜，则 $D = 0.42$ 微米。凡被检物体长度大于这个数值，均能视见。由此可见， D 值愈小，分辨力愈高，物象愈清楚。根据上式，可通过：（1）减低波长；（2）增大折射率；（3）加大镜口角来提高分辨力。紫外线作光源的显微镜和电子显微镜就是利用短光波来提高分辨力以检视较小的物体的。物镜分辨力的高低与造象是否清楚有密切的关系。目镜没有这种性能。目镜只放大物镜所造的象。

放大率：显微镜放大物体，首先经过物镜第一次放大造象，目镜在明视距离造成第二次放大象。放大率就是最后的象和原物体两者体积大小之比例。因此，显微镜的放大率（ V ）等于物镜放大率（ V_1 ）和目镜放大率（ V_2 ）的乘积，即： $V = V_1 \times V_2$

焦深：在显微镜下观察一个标本时，焦点对在某一象面时，物象最清晰，这象面为目的面。在视野内除目的面外，还能在目的面的上面和下面看见模糊的物象，这两个面之间的距离称为焦深。物镜的焦深和数值孔径及放大率成反比：即数值孔径和放大率愈大，焦深愈小。因此调节油镜比调节低倍镜要更加仔细，否则容易使物象滑过而找不到。

（3）显微镜的使用操作及注意事项

观察前的准备：

1、显微镜从显微镜柜或镜箱内拿出时，要用右手紧握镜臂，左手托住镜座，平稳地将显微镜搬运到实验桌上。

2、将显微镜放在自己身体的左前方，离桌子边缘约 10 cm 左右，右侧可放记录本或绘图纸。

3、调节光照 不带光源的显微镜，可利用灯光或自然光通过反光镜来调节光照，但不能用直射阳光，直射阳光会影响物像的清晰并刺激眼睛。将 $10\times$ 物镜转入光孔，将聚光器上的虹彩光圈打开到最大位置，用左眼观察目镜中视野的亮度，转动反光镜，使视野的光照达到最明亮最均匀为止。光线较强时，用平面反光镜，光线较弱时，用凹面反光镜。自带光源的显微镜，可通过调节电流旋钮来调节光照强弱。

4、调节光轴中心 显微镜在观察时，其光学系统中的光源、聚光器、物镜和目镜的光轴

及光阑的中心必须跟显微镜的光轴同在一直线上。带视场光阑的显微镜，先将光阑缩小，用10×物镜观察，在视场内可见到视场光阑圆球多边形的轮廓像，如此像不在视场中央，可利用聚光器外侧的两个调整旋钮将其调到中央，然后缓慢地将视场光阑打开，能看到光束向视场周缘均匀展开直至视场光阑的轮廓像完全与视场边缘内接，说明光线已经合轴。切忌用单手拎提；且不论使用单筒显微镜或双筒显微镜均应双眼同时睁开观察，以减少眼睛疲劳，也便于边观察边绘图或记录。

5、低倍镜观察 镜检任何标本都要养成必须先用低倍镜观察的习惯。因为低倍镜视野较大，易于发现目标和确定检查的位置。将标本片放置在载物台上，用标本夹夹住，移动推动器，使被观察的标本处在物镜正下方，转动粗调节旋钮，使物镜调至接近标本处，用目镜观察并同时用粗调节旋钮慢慢升起镜筒（或下降载物台），直至物像出现，再用细调节旋钮使物像清晰为止。用推动器移动标本片，找到合适的目的像并将它移到视野中央进行观察。在任何时候使用粗调节器聚焦物像时，必需养成先从侧面注视小心调节物镜靠近标本，然后用目镜观察，慢慢调节物镜离开标本进行准焦的习惯，以免因一时的误操作而损坏镜头及玻片。

6、高倍镜观察 在低倍物镜观察的基础上转换高倍物镜。较好的显微镜，低倍、高倍镜头是同焦的，在正常情况下，高倍物镜的转换不应碰到载玻片或其上的盖玻片。若使用不同型号的物镜，在转换物镜时要从侧面观察，避免镜头与玻片相撞。然后从目镜观察，调节光照，使亮度适中，缓慢调节粗调节旋钮，使载物台上升（或镜筒下降），直至物像出现，再用细调节旋钮调至物像清晰为止，找到需观察的部位，并移至视野中央进行观察。在一般情况下，当物像在一种物镜中已清晰聚焦后，转动物镜转换器将其他物镜转到工作位置进行观察时，物像将保持基本准焦的状态，这种现象称为物镜的同焦。利用这种同焦现象，可以保证在使用高倍镜或油镜等放大倍数高、工作距离短的物镜时仅用细调节器即可对物像清晰聚焦，从而避免由于使用粗调节器时可能的误操作而损坏镜头或载玻片。

7、油镜观察：油浸物镜的工作距离（指物镜前透镜的表面到被检物体之间的距离）很短，一般在0.2 mm以内，再加上一般光学显微镜的油浸物镜没有“弹簧装置”，因此使用油浸物镜时要特别细心，避免由于“调焦”不慎而压碎标本片并使物镜受损。使用油镜按下列步骤操作：

先用粗调节旋钮将镜筒提升（或将载物台下降）约2 cm，并将高倍镜转出。

在玻片标本的镜检部位滴上一滴香柏油。

从侧面注视，用粗调节旋钮将载物台缓缓地上升，（或镜筒下降），使油浸物镜浸入香柏油中，使镜头几乎与标本接触。

从接目镜内观察，放大视场光阑及聚光镜上的虹彩光圈（带视场光阑油镜开大视场光阑），上调聚光器，使光线充分照明。用粗调节旋钮将载物台徐徐下降（或镜筒上升），当出现物像一闪后改用细调节旋钮调至最清晰为止。如油镜已离开油面而仍未见到物象，必须再从侧面观察，重复上述操作。有时按上述操作还找不到目的物，则可能是由于油镜头下降还

未到位，或因油镜上升太快。以至眼睛捕捉不到一闪而过的物像。遇此情况，应重新操作。另外应特别注意不要因在下降镜头时用力过猛，或调焦时误将粗调节器向反方向转动而损坏镜头及载玻片。

观察完毕，下降载物台，将油镜头转出，先用擦镜纸擦去镜头上的油，再用擦镜纸蘸少许乙醚酒精混合液（乙醚 2 份，纯酒精 3 份）或二甲苯，擦去镜头上残留油迹，最后再用擦镜纸擦拭 2~3 下即可，（注意向一个方向擦拭）。

将各部分还原，转动物镜转换器，使物镜头不与载物台通光孔相对，而是成八字形位置，再将镜筒下降至最低，降下聚光器，反光镜与聚光器垂直，用一个干净手帕将接目镜罩好，以免目镜头沾污灰尘。最后用柔软纱布清洁载物台等机械部分，然后将显微镜放回柜内或镜箱中。

有菌的玻片置消毒缸中，清洗、晾干后备用。

3. 思考题

- 1、用油镜观察时应注意哪些问题？在载玻片和镜头之间加滴什么油？起什么作用？
- 2、试列表比较低倍镜、高倍镜及油镜各方面的差异。为什么在使用高倍镜及油镜时应特别注意避免粗调节器的误操作？
- 3、影响显微镜分辨率的因素有哪些？
- 4、根据你的实验体会，谈谈应如何根据所观察微生物的大小，选择不同的物镜进行有效的观察。

实验十五 微生物细胞的测量与计数

1. 实验目的

- (1) 了解显微镜测定微生物大小与血球计数板测定微生物数量的原理。
- (2) 学习掌握显微镜下测定微生物细胞大小的技术，包括目镜测微尺、物镜测微尺的校正技术与测定细胞大小技术。
- (3) 了解血球计数板结构，学习并掌握血球计数板计数微生物数量的技术，包括样品的点样、菌数计数的方法计算。

2、实验原理

(1) 微生物大小测定原理：用于测量微生物细胞大小的工具有目镜测微尺和镜台测微尺。

目镜测微尺是一块圆形玻片，在玻片中央把 5 mm 长度刻成 50 等分，或把 10 mm 长度刻成 100 等分。测量时，将其放在接目镜中的隔板上（此处正好与物镜放大的中间像重叠）来测量经显微镜放大后的细胞物象。由于不同目镜、物镜组合的放大倍数不相同，目镜测微尺每格实际表示的长度也不一样，因此目镜测微尺测量微生物大小时须先用置于镜台上的镜台测微尺校正，以求出在一定放大倍数下，目镜测微尺每小格所代表的相对长度。

镜台测微尺是中央部分刻有精确等分线的载玻片，一般将 1 mm 等分为 100 格，每格长 10 μm （即 0.01 mm），是专门用来校正目镜测微尺的。校正时，将镜台测微尺放在载物台

上,由于镜台测微尺与细胞标本是处于同一位置,都要经过物镜和目镜的两次放大成像进入视野,即镜台测微尺随着显微镜总放大倍数的放大而放大,因此从镜台测微尺上得到的读数就是细胞的真实大小,所以用镜台测微尺的已知长度在一定放大倍数下校正目镜测微尺,即可求出目镜测微尺每格所代表的长度,然后移去镜台测微尺,换上待测标本片,用校正好的目镜测微尺在同样放大倍数下测量微生物大小。

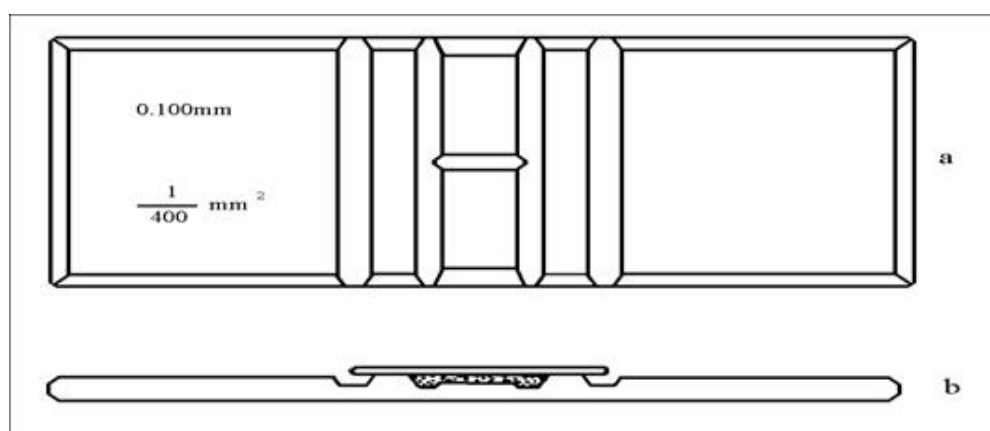
(2) 血球计数板测定微生物数量的原理: 镜检计数法适用于各种含单细胞菌体的纯培养悬浮液,如有杂菌或杂质常不易分辨。菌体较大的酵母菌或霉菌孢子可采用血球计数板;一般细菌则采用彼得罗夫·霍泽(Petroff Hausser)细菌计数板。两种计数板的原理和部件相同,只是细菌计数板较薄,可以使用油镜观察。而血球计数板较厚,不能使用油镜,故细菌不易看清。

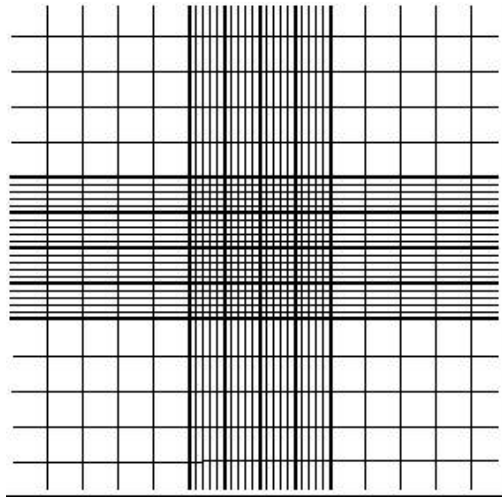
血球计数板是一块特制的厚载玻片,载玻片上有4条槽而构成3个平台。中间的平台较宽,其中间又被一短横槽分隔成两半,每个半边上面各有一个方格网。每个方格网共分9大格,其中间的一大格(又称为计数室)常被用作微生物的计数。计数室的刻度有两种:一种是大方格分为16个中方格,而每个中方格又分成25个小方格;另一种是一个大方格分成25个中方格,而每个中方格又分成16个小方格。但是不管计数室是哪一种构造,它们都有一个共同特点,即每个大方格都由400个小方格组成。

每个大方格边长为1mm,则每一大方格的面积为 1 mm^2 ,每个小方格的面积为 $1/400\text{ mm}^2$,盖上盖玻片后,盖玻片与计数室底部之间的高度为0.1mm,所以每个计数室(大方格)的体积为 0.1 mm^3 ,每个小方格的体积为 $1/4000\text{ mm}^3$ 。使用血球计数板直接计数时,先要测定每个小方格(或中方格)中微生物的数量,再换算成每毫升菌液(或每克样品)中微生物细胞的数量。

3. 需用的仪器、试剂:

显微镜,目镜测微尺,镜台测微尺,血球计数板、盖玻片(22mm×22mm)、吸水纸、计数器、滴管、擦镜纸、酵母菌液





4. 实验步骤:

(1) 目镜测微尺的校正: 把目镜的上透镜旋下, 将目镜测微尺的刻度朝下轻轻地装入目镜的隔板上, 把镜台测微尺置于载物台上, 刻度朝上。先用低倍镜观察, 对准焦距, 视野中看清镜台测微尺的刻度后, 转动目镜, 使目镜测微尺与镜台测微尺的刻度平行, 移动推动器, 使两尺重叠, 再使两尺的“0”刻度完全重合, 定位后, 仔细寻找两尺第二个完全重合的刻度, 计数两重合刻度之间目镜测微尺的格数和镜台测微尺的格数。因为镜台测微尺的刻度每格长 $10\ \mu\text{m}$, 所以由下列公式可以算出目镜测微尺每格所代表的长度。例如目镜测微尺 5 小格正好与镜台测微尺 5 小格重叠, 已知镜台测微尺每小格为 $10\ \mu\text{m}$, 则目镜测微尺上每小格长度为 $=5 \times 10\ \mu\text{m} / 5 = 10\ \mu\text{m}$ 。用同法分别校正在高倍镜下和油镜下目镜测微尺每小格所代表的长度。由于不同显微镜及附件的放大倍数不同, 因此校正目镜测微尺必须针对特定的显微镜和附件 (特定的物镜、目镜、镜筒长度) 进行, 而且只能在特定的情况下重复使用, 当更换不同放大倍数的目镜或物镜时, 必须重新校正目镜测微尺每一格所代表的长度。

(2) 细胞大小的测定

将酵母菌斜面制成一定浓度的菌悬液。

取一滴酵母菌菌悬液制成水浸片。

移去镜台测微尺, 换上酵母菌水浸片, 先在低倍镜下找到目的物, 然后在高倍镜下用目镜测微尺来测量酵母菌菌体的长, 宽各占几格 (不足一格的部分估计到小数点后一位数)。测出的格数乘上目镜测微尺每格的校正值, 即等于该菌的长和宽。一般测量菌体的大小要在同一个标本片上测定 10~20 个菌体, 求出平均值, 才能代表该菌的大小。而且一般是用对数生长期的菌体进行测定。

(3) 酵母菌数量的测定

取洁净的血球计数板一块, 在计数室上盖上一块盖玻片。

将酵母菌液摇匀, 用滴管吸取少许, 从计数板中间平台两侧的沟槽内沿盖玻片的下边缘滴入一小滴 (不宜过多), 使菌液沿两玻片间自行渗入计数室, 勿使产生气泡, 并用吸水纸吸

去沟槽中流出的多余菌液。也可以将菌液直接滴加在计数室上，然后加盖盖玻片(勿使产生气泡)。

静置约 5 分钟，先在低倍镜下找到计数室后，再转换高倍镜观察计数。

计数时用 16 中格的计数板，要按对角线方位，取左上、左下、右上、右下的 4 个中格(即 100 小格)的酵母菌数。如果是 25 中格计数板。除数上述四格外，还需数中央 1 中格的酵母菌数(即 80 小格)。由于菌体在计数室中处于不同的空间位置，要在不同的焦距下才能看到，因而观察时必须不断调节微调螺旋，方能数到全部菌体，防止遗漏。如菌体位于中格的双线上，计数时则数上线不数下线，数左线不数右线，以减少误差。

凡酵母菌的芽体达到母细胞大小一半时，即可作为两个菌体计算。每个样品重复分数 2-3 次(每次数值不应相差过大，否则应重新操作)，取其平均值，按下述公式计算出每毫升菌液所含酵母菌细胞数。

每毫升菌液含菌数 = 每小格酵母细胞数 × 4000 × 1000 × 稀释倍数

血球计数板用后，在水龙头上用水柱冲洗干净，切勿用硬物洗刷或抹擦，以免损坏网格刻度。洗净后自行晾干或吹风机吹干。

5. 实验报告要求:

(1) 将实验结果填入下列表格

表 1 目镜测微目尺校正结果

物镜	目尺格数	台尺格数	目尺校正值 (μm)
10×			

续表 1

40×			
100×			

表 2 酵母菌大小测定记录 (格数)

	格数	平均值
长		
宽		

结果计算：长 μm = 平均格数 × 校正值；宽 μm = 平均格数 × 校正值；大小表示：宽 μm × 长 μm

表 3 酵母菌计数

计数次数	大方格菌数	稀释倍数	总菌数	平均值
1				
2				
3				
4				

6、思考题：

根据你的体会，说明用血细胞计数板计数的误差主要来自哪些方面？应如何尽量减少误差、力求准确？

某单位要求知道一种干酵母粉中的活菌存活率，请设计 1~2 种可行的检测方法。

实验十六 培养基的配制与灭菌

1. 实验目的

- (1) 熟悉玻璃器皿的洗涤和灭菌前的准备工作。
- (2) 掌握培养基和无菌水的制备方法。
- (3) 掌握高压蒸气灭菌技术。

2. 需用的仪器、试剂

- (1) 培养皿（直径 90 mm）10 套，试管（15 mm×150 mm）5 支、（18 mm×180 mm）5 支、移液管（10 mL）1 支、（1 mL）2 支，锥形瓶（250 mL）2 个，烧杯（300 mL）1 个，玻璃珠 30 粒。
- (2) 纱布、棉花、牛皮纸（或报纸）
- (3) 精密 pH 试纸 6.4~8.4、10% HCl、10% NaOH
- (4) 牛肉膏、蛋白胨、氯化钠、琼脂、或市售营养琼脂培养基、蒸馏水
- (5) 高压蒸气灭菌锅、烘箱、煤气灯或酒精灯

3. 实验步骤：

(1) 玻璃器皿的洗涤和包装

洗涤：玻璃器皿在使用前必须洗涤干净。培养皿、试管、锥形瓶等可用洗衣粉加去污粉洗刷并用自来水冲净。移液管先用洗液浸泡，再用水冲洗干净。洗刷干净的玻璃器皿自然晾干或放入烘箱中烘干、备用。

包装：

A. 移液管的吸端用细铁丝将少许棉花塞入构成 1~1.5 cm 长的棉塞（以防细菌吸入口中，并避免将口中细菌吹入管内）。棉塞要塞得松紧适宜，吸时既能通气，又不致使棉花滑入管内。将塞好棉花的移液管的尖端，放在 4~5 cm 宽的长纸条的一端，移液管与纸条约成 30° 夹角，折叠包装纸包住移液管的尖端，用左手将移液管压紧，在桌面上向前搓转，纸条螺旋式地包在移液管外面，余下纸头折叠打结。按实验需要，可单支包装或多支包装，待灭菌。

B. 用棉塞将试管管口和锥形瓶瓶口部塞住

棉塞的制作：按试管口或锥形瓶口大小估计用棉量，将棉花铺成中心厚，周围逐渐变薄的圆形，对折后卷成卷，一手握粗端，将细端塞入试管或锥形瓶的口内，棉塞不宜过松或过紧，用手提棉塞，以管、瓶不掉下为准。棉塞四周应紧贴管壁和瓶壁，不能有皱折，以防空气微生物沿棉塞皱折侵入。棉塞插入 2/3，其余留在管口（或瓶口）外，便于拔塞。试管、锥形瓶塞好棉塞后，用牛皮纸包并用细绳或橡皮筋捆扎好，放在铁丝或铜丝篓内待灭菌。

C. 培养皿由一底一盖组成一套，用牛皮纸或报纸将 10 套培养皿（皿底朝里，皿盖朝外，

5套、5套相对)包好。

(2) 培养基的制备: 培养基是微生物的繁殖基地。通常根据微生物生长繁殖所需要的各种营养物配制而成。其中含水分、碳化合物、氮化合物、无机盐等, 这些营养物可提供微生物碳源、能源、氮源等, 组成细胞及调节代谢活动。按培养目的不同, 或培养不同种类微生物可配成各种培养基。通常培养细菌是用肉膏蛋白胨培养基, 培养放线菌常用淀粉培养基, 用豆芽汁培养霉菌, 用麦芽汁培养酵母菌。

培养微生物除了满足它们各自营养物要求外, 还要给予适宜的 pH、渗透压和温度等。根据研究目的的不同, 可配制成固体、半固体和液体的培养基。固体培养基的成分与液体相同, 仅在液体培养基中加入凝固剂使呈固态。通常加入 15 g/L~30 g/L 的琼脂为固体培养基; 加入 3 g/L~5 g/L 的琼脂为半固体培养基。有的细菌还需用明胶或硅胶。本实验用固体培养基和液体培养基。培养基的制备过程如下:

配制溶液: 取一定容量的烧杯盛入定量无菌水, 按培养基配方逐一称取各种成分, 依次加入水中溶解。蛋白胨、肉膏等可加热促进溶解, 待全部溶解后, 加水补足因加热蒸发的水量。注意: 在制备固体培养基加热融化琼脂时要不断搅拌, 避免琼脂糊底烧焦。

调节 pH: 用精密 pH 试纸测培养基的 pH, 按 pH 的要求用质量浓度 100 g/L NaOH 或体积百分数 10% HCl 调整至所需的 pH。

过滤: 用纱布或滤纸或棉花过滤均可。如果培养基杂质很少或实验要求不高, 可不过滤。

分装: 将培养基分装于试管中或锥形瓶中(注意防止培养基玷污管口或瓶口, 避免浸湿棉塞引起杂菌污染), 装入试管的培养基量视试管的大小及需要而定, 一般制斜面培养基时, 每支试管装的量为试管高度的 1/4~1/3。

斜面培养基的制作: 将已灭菌的装有琼脂培养基的试管取出, 趁热斜置在木棒(或橡皮管)上, 使试管内的培养基斜面长度为试管长度的 1/3~1/2 之间, 待培养基凝固后即成斜面。

(3) 本实验用培养基的制备: 肉膏蛋白胨琼脂培养基(供测定细菌总数用及细菌纯种分离培养用)。

培养基配方: 牛肉膏 0.75 g 蛋白胨 1.5 g 氯化钠 0.75 g 琼脂 3 g 蒸馏水 150 mL pH=7.6 灭菌: 1.05 kg/cm², 20 min。

操作:

A. 取一个 300 mL 的烧杯, 装 150 mL 蒸馏水。

B. 在药物天平上依次称取配方中各成分, 放入水中溶解, 待琼脂完全融化后停止加热, 补足蒸发损失的水量。用 10% NaOH 调整 pH 至 7.6, 本实验省略过滤。将培养基分装 5 支试管中, 其余的全部倒入 250 mL 的锥形瓶中, 分别塞上棉塞, 包扎好待灭菌。

(4) 无菌稀释水的制备

取一个 250 mL 的锥形瓶装 90(或 99) mL 蒸馏水, 放 30 颗玻璃珠(用于打碎活性污泥、菌块或土壤颗粒)于锥形瓶内, 塞棉塞、包扎, 待灭菌。

另取 5 支 18 mm × 180 mm 的试管，分别装 9 mL 蒸馏水，塞棉塞、包扎，待灭菌。

(五) 灭菌：灭菌是用物理、化学因素杀死全部微生物的营养细胞和它们的芽孢（或孢子）。消毒和灭菌有些不同，它是用物理、化学因素杀死致病微生物或杀死全部微生物的营养细胞及部分芽孢。灭菌方法很多，有过滤除菌法；化学药品消毒和灭菌法，利用酚、含汞药物及甲醛等使细菌蛋白质凝固变性以达灭菌目的；还有利用物理因素，例如高温、紫外线和超声波等灭菌的。加热灭菌是最主要的，加热灭菌法有两种：干热灭菌和高压蒸气灭菌。高压蒸气灭菌比干热灭菌优越，因为湿热的穿透力和热传导都比干热的强，湿热时微生物吸收高温水分，菌体蛋白很易凝固变性，所以湿热灭菌效果好。湿热灭菌的温度一般是在 121℃，灭菌 15~30 min；而干热灭菌的温度则是 160℃，灭菌 2 h，才能达到湿热灭菌 121T 的同样效果。

(1) 干热灭菌法：培养皿、移液管及其他玻璃器皿可用干热灭菌。先将已包装好的上述物品放入恒温箱中，将温度调至 160℃ 后维持 2 h，把恒温箱的调节旋钮调回零处，待温度降到 50℃ 左右，才可将物品取出。

请注意：灭菌时温度不得超过 170℃，以免包装纸烧焦。灭菌好的器皿应保存好，切勿弄破包装纸，否则会染菌。

(2) 高压蒸气灭菌法：该法使用高压灭菌锅，微生物实验所需的一切器皿、器具、培养基（不耐高温者除外）等都可用此法灭菌。高压蒸气灭菌锅是能耐一定压力的密闭金属锅，有立式和卧式两种。灭菌锅上附有压力表、排气阀、安全阀、加水口、排水口等。卧式灭菌锅还附有温度计。有的还有蒸气入口。灭菌锅的加热源有电、煤气和蒸气三种。操作过程

加水：立式锅是直接加水至锅内底部隔板以下 1/3 处。有加水口者由加水口加入至止水线处。

装锅：把需灭菌的器物放火锅内（请注意：器物不要装得太满，否则灭菌不彻底），关严锅盖（对角式均匀拧紧螺旋），打开排气阀。

点火：用电源的则启动开关。热源为蒸气的则慢慢打开蒸气进口，避免蒸气过猛冲入锅内。

关闭排气阀：待锅内水沸腾后，蒸气将锅内冷空气驱净，当温度计指针指向 100℃ 时，证明锅内已充满蒸气，则关排气阀。如果没有温度计，则视排气阀排出蒸气相当猛烈且微带蓝色时，可关闭排气阀。

升压、升温：关闭排气阀以后，锅内成为密闭系统，蒸气不断增多，压力计和温度计的指针上升，当压力达到 1.05 kg/cm²（温度为 121℃）即灭菌开始，这时调整火力大小使压力维持在 1.05 kg/cm² 15~30 min. 除含糖培养基用 0.56 kg/cm² 压力外，一般都用 1.05 kg/cm² 压力。

中断热源：达到灭菌时间要求后停止加热，任其自然降压，当指针回到 0 时，打开排气阀（请注意，排气阀不能过早打开，否则培养基因压力突降，温度没下降而使培养基翻腾冲到棉塞处，既损失培养基又玷污了棉塞）。

揭开锅盖，取出器物，排掉锅内剩余水。

待培养基冷却后置于 37℃ 恒温箱内培养 24 h，若无菌生长则放入冰箱或阴凉处保存备用。

湿热灭菌除加压的以外，还有在常压下灭菌的，这叫间歇灭菌。此法用于一些受高温破坏的培养基的灭菌。它是在连续的 3 d 内，每天蒸煮一次，100℃ 煮 30~60 min 后冷却，置于对 37℃ 培养 24 h，次日又蒸煮一次，重复前一天的工作，第三天蒸煮后基本无菌了，为确保无菌仍要置于 37℃ 培养 24 h，确无菌方可使用。

4. 思考题：

- (1) 配制培养基的步骤和注意事项？
- (2) 高压蒸汽灭菌的步骤和注意事项？为什么湿热比干热灭菌优越？
- (3) 培养基根据什么原理配制成？肉青蛋白胨琼脂培养基中不同成分各起什么作用？

实验十七 土壤微生物的稀释、分离、接种与培养

1. 实验目的

- (1) 学习从土壤分离微生物的方法，学习无菌操作技术。
- (2) 用稀释法分离细菌、放线菌和霉菌。
- (3) 用平板划线法分离微生物。
- (4) 学习斜面接种及穿刺接种等无菌操作技术。

2. 需用的仪器、试剂：

牛肉膏蛋白胨培养基，无菌培养皿、无菌 EP 管、土壤样品、天平、称量纸、药匙、试管架、记号笔、涂布器、1000 μL 移液器、200 μL 移液器、20 μL 移液器、1000 μL 枪头、200 μL 枪头、20 μL 枪头、无菌水(49.5 mL、带玻璃珠) 1 瓶、80% 乳酸、10% 酚液、95% 乙醇。三角烧瓶，1 mL 和 5 mL 无菌吸管，无菌培养皿；接种环，土样，酒精灯等。

3. 实验步骤：

(1) 土壤稀释分离：

取土壤：取表层以下 5~10 cm 处的土样。放入灭菌的袋中备用，或放在 4℃ 冰箱中暂存。

制备稀释液：制备土壤悬液：称土样 0.5 g，迅速倒入带玻璃珠的无菌水瓶中，振荡 5~10 min，使土壤充分打散，即成为 10^{-2} 的土壤悬液。梯度稀释：用移液器吸 10^{-2} 的土壤悬液 100 μL，放入装有 900 μL 无菌水的 EP 管中，上下颠倒数次，即为 10^{-3} 的稀释液，如此重复，可依次制成 10^{-3} ~ 10^{-8} 的稀释液。注意：每一个稀释度换用一支枪头。

(2) 混菌法测定菌落数的方法：

细菌：取 10^{-7} 、 10^{-6} 两管稀释液各 400 μL，分别接入相应标号的平皿中，每个稀释度接两个平皿。然后取冷却至 50℃ 的牛肉膏琼脂培养基，分别倒入以上培养皿中(装量以铺满皿底的 2/3 为宜)，迅速轻轻摇动平皿，使菌液与培养基充分混匀，但不沾湿平皿的边缘，待琼脂凝固即成细菌平板。倒平板时要注意无菌操作。

放线菌：取 10^{-5} 、 10^{-4} 两管稀释液，在每管中加入 10% 酚液 50 μL ，摇匀，静置片刻，然后分别从两管中吸出 400 μL 加入相应标号的平皿中，选用高氏 1 号培养基，用与细菌相同的方法倒入平皿中，便可制成放线菌平板。

霉菌：取 10^{-2} 、 10^{-3} 两管稀释液各 400 μL ，分别接入相应标号的平皿中，每个稀释液接两个平皿。在熔好的土豆蔗糖培养基中，每 1000 μL 加入灭菌的乳酸 10 μL ，轻轻摇匀，然后用与细菌相同的方法倒入平皿中，便可制成霉菌的平板。

(3) 培养：将接种好的细菌、放线菌、霉菌平板倒置，即皿盖朝下放置，于 28~30 $^{\circ}\text{C}$ 中温培养，细菌培养 1~2 d，放线菌培养 5~7 d，霉菌培养 3~5 d。可用于观察菌落，用于进一步纯化分离或直接转接斜面。

(4) 平板划线分离微生物

倒平板：按无菌操作要求，在火焰旁操作，取融化并冷却至不烫手的固体培养基(约 50 $^{\circ}\text{C}$)，倒入无菌培养皿中，倒量以铺满皿底为限，平放桌上待其充分凝固，备用。

划线分离：使用接种环，从待纯化的菌落或待分离的斜面菌种中沾取少量菌样，在相应培养基平板中划线分离，划线的方法多样，目的是获得单个菌落。

培养：方法同“土壤稀释分离”

(5) 斜面接种

取新鲜斜面固体培养基，分别做好标记(写上菌名、接种日期、接种人等)，然后用无菌操作方法，把持接菌种接入以上新鲜培养基斜面中。

接种的方法是，用接种环沾取少量待接菌种，然后在新鲜斜面上“之”字形划线，方向是从下部开始，一直划至上部。注意划线要轻，不可把培养基划破。

接种后 30 $^{\circ}\text{C}$ 恒温培养，细菌培养 48h，放线菌、霉菌培养至孢子成熟方可取出保存。

(6) 穿刺接种

取两支新鲜半固体牛肉膏蛋白胨柱状培养基，做好标记(写上菌名、接种日期、接种人等)。分别接入金黄色葡萄球菌和普通变形菌。

接种的方法是，用接种针沾取少量待接菌种，然后从柱状培养基的中心穿入其底部(但不要穿透)、然后沿原刺入路线抽出接种针，注意接种针不要移动。

接种后 30 $^{\circ}\text{C}$ 恒温培养，24 h 后观察，比较两种菌的生长结果。

4. 思考题：

(1) 记录土壤稀释分离结果，并计算出每克土壤中的细菌、放线菌和霉菌的数量。

计算方法：选择长出菌落数 30~300 之间的培养皿进行计数，按以下公式：

总个数 / g = 同一稀释度几次重复的菌落平均数 \times 稀释倍数

(2) 分别记录平板划线、斜面接种的结果，并自我评价。

(3) 比较两种穿刺接种的结果，并进行分析。

实验十八 细菌的简单染色与革兰氏染色

1. 实验目的

(1) 学习微生物涂片、染色的基本技术，掌握细菌的简单染色方法及革兰氏染色。

(2) 了解革兰氏染色法的原理及其在细菌分类鉴定中的重要性。

2. 实验原理

1、简单染色的原理：大多数微生物细胞质是带负电荷，简单染色时采用已知的、带正电荷的碱性染料。染料适用于热固定的涂片，染料与菌体细胞质黏附使菌体着色。经染色后的细菌细胞与背景形成鲜明对比。

2、革兰氏染色的原理：革兰氏阳性菌的细胞壁主要由肽聚糖形成的网状结构组成，在染色过程中，当用 95%乙醇处理时，由于脱水而引起网状结构中的孔径变小，细胞壁的通透性降低，使结晶紫-碘复合物被保留在细胞壁内而不易脱色，因此呈蓝紫色。革兰氏阴性菌的细胞壁中肽聚糖含量低，脂类物质含量高，当用乙醇处理时，脂类物质溶解，细胞壁的通透性增加，使结晶紫-碘复合物容易被乙醇抽提出来而脱色，然后又被染上了复染剂的颜色，因此呈现红色。

3. 需用的仪器、试剂：

1、细菌培养物、简单染色液（美蓝染色液、黑色素液或炭素墨水）、革兰氏染色液（结晶紫染液、卢戈氏碘液、95%乙醇、石碳酸复红。

2、载玻片、盖玻片、接种环、镊子、酒精灯、火柴、玻璃铅笔、蒸馏水等。

3、显微镜、香柏油、二甲苯、擦镜纸、吸水纸等。

4. 实验步骤：

(1) 简单染色：

涂片：取一块干净的载玻片，滴一小滴生理盐水于载玻片中央，用无菌操作挑取细菌，调匀并涂成薄膜。注意滴生理盐水时不宜过多，涂片必须均匀。

干燥与固定：自然气干或酒精灯高处微微加热，并于火焰上通过 2~3 次。

染色：在整个涂面上滴加齐氏石炭酸复红，染色 1 分钟。

水洗：倾去染液，用自来水细流冲洗至流下的水中无染料颜色为止。

干燥：空气中自然干燥或在酒精灯高处微微加热。

镜检：在油镜下观察细菌形态。

(2) 革兰氏染色

涂片

初染：在做好的涂面上滴加草酸铵结晶紫染液，染 1 分钟，倾去染液，流水冲洗至无紫色。

媒染：先用新配的卢哥氏碘液冲去残水，而后用其覆盖涂面 1 分钟，后水洗。

脱色：除去残水后，滴加 95%酒精进行脱色约 30 秒，后立即用流水冲洗。

复染：滴加番红染色液，染 1 分钟，水洗后用吸水纸吸干。

镜检：观察染色结果。

5. 思考题：

- (1) 革兰氏染色的基本原理和意义？
- (2) 做革兰氏染色涂片为什么不能过于浓厚？革兰氏染色成败的关键？
- (3) 根据实验体会，你认为制备染色标本时，应注意哪些事项？

六、实验教学中应注意的问题

1. 组织管理的要求：

依据教学大纲和教材要求制定的学期教学计划，包含实验教学进度。实验教学写出实验教案，以明确实验目的、课时和实验内容。并严格按此计划组织、实施教学。实验中根据学校实验室条件尽可能多分组，减少每组人数，以培养学生动手和独立思考、独立分析解决问题的能力。

2. 对教师的要求：

- (1) 对每个实验都要认真准备，包括试做、试讲实验要领等。
- (2) 在实验教学过程中，教师的引导、辅助是很重要的，但不能为此而取代学生的操作过程，更要关注学生的操作细节是否规范。
- (3) 及时认真地批改实验报告，进行评分登记，每次实验结束后应实事求是地写好实验教学记录。
- (4) 积极开展实验教学研究，改革陈旧的实验项目、实验内容和实验方法，不断提高实验教学质量。

3. 对学生的要求：

- (1) 实验前对实验内容进行预习，书写预习报告，实验前交给老师并进行签到；
- (2) 在实验室要遵守实验室规章制度，听从实验老师安排；
- (3) 实验中注意安全、爱护实验仪器。
- (4) 实验结束后要清洁实验台面、清洗好实验用玻璃仪器；并打扫实验室卫生。

4. 对教学基地、实验室和实验员的要求：

- (1) 实验应配套的主要仪器设备包括：电子天平；滴定分析仪器；分光光度计；比色管；恒温水浴锅、水泵、流量计、压差计、显微镜、培养箱等。
- (2) 实验前实验员应根据实验分组情况将实验用的仪器、试剂、溶液等准备好。实验过程中，并对学生实验进行指导。
- (3) 努力创造条件，以多种形式开放实验室，供学生预习或补作实验。

七、教材及主要参考书

1、选用教材：

自编实验教材。

2、主要参考书：

《分析化学》(第五版)，武汉大学主编. 北京：高等教育出版社，2006。

《分析化学实验》，蔡蒨，上海交通大学出版社，2010。
《分析化学实验》，胡广林编，北京：化工出版社，2010。
《给水排水工程专业实验教程》，胡锋平，北京：化工出版社，2010。
《水力学》，张维佳主编，中国建筑工业出版社，2008年。
周群英、王士芬编著，《环境工程微生物学》（第四版），高等教育出版社，2010年。
周德庆著，《微生物学教程》，北京：高等教育出版社，2002，二版
王家玲等编，《水处理微生物学》，北京：高等教育出版社，2004，二版
王家玲主编，《水处理微生物学实验》，北京：高等教育出版社，2004，二版

八、教改说明及其他

执笔人：刘迎九

系室审核人：王劲松 刘金香

2. 《给排水实验 3、4》实验教学大纲

Experiment of Water treatment (3, 4)

课程编号：0807050150332, 0807050150442

课程类别：独立开设实验课程

学时：32 学时 **学分：**1

适用对象：给水排水工程专业三年级本科生

先修课程：水泵与水泵站、水质工程学（1，2）、水处理新技术、水处理实验技术等课程。

一、课程的性质与任务

本课程是给水排水工程专业选修课，是水处理教学的重要组成部分，是培养给水排水工程、环境工程技术人员所必需的课程。通过对实验的观察、分析，加深对水处理基本概念、现象、规律与基本原理的理解；所学知识既直接应用于实际工作，又为给水工程、排水工程等相关课程的学习奠定了基础。

二、教学的目的与要求

本课程作为给水排水工程专业必修课，加深学生对水处理技术基本原理的理解，培养学生设计和组织水处理实验方案的初步能力，培养学生进行水处理实验的一般技能及使用实验仪器、设备的基本能力；培养学生分析实验数据与处理数据的基本能力。

通过对实验的观察、分析，应力求使学生弄清实验目的、原理、实验仪器、实验步骤，加深对水处理基本概念、现象、规律与基本原理的理解，使学生通过实验，掌握实验方法和实验结论，掌握一般水处理处理实验技能和仪器、设备的使用方法，具有一定的解决实验技术问题的能力；学会设计实验方案和组织实验的方法；学会对实验数据进行测定、分析与处理，从而能得出切合实际的结论；培养实事求是的科学态度和工作作风。

三、考核方式及办法：

本实验课程考核分为三部分：一是实验前预习(含预习报告)，学生明确实验目的、实验原理、实验内容和基本操作要求。实验时，经指导老师检查认可后，才能开始做实验，占总成绩的 10%；二是实验操作过程考查，包括实验态度，实验动手能力、综合分析问题和解决实际问题的能力、仪器设备使用的熟悉程度；原始数据正确记录，占总成绩的 60%；三是考查能否写出完整的实验报告，进行数据处理和有关计算，并及时上交实验报告，占总成

绩的 30%。

四、实验项目名称与学时分配:

实验项目按属性分为基础类模块、环境类模块和节能类模块。《给排水工程实验 3、4》实验项目属基础类模块。

《给排水实验 3》实验项目安排一览表

序号	实验项目名称	学时分配	实验属性	实验类型	分组人数	实验模块
1	混凝沉淀实验	3	必修	综合	3-4	环境类
2	絮凝沉淀实验	3	必修	验证	3-4	
3	过滤参数测定	4	必修	综合	3-4	
4	过滤反冲洗实验	3	必修	验证	3-4	
5	软化实验	3	必修	综合	3-4	
合计		16				

《给排水实验 4》实验项目安排一览表

序号	实验项目名称	学时分配	实验属性	实验类型	分组人数	实验模块
6	溶气气浮实验	4	必修	综合	3-4	环境类
7	成层沉淀实验	3	必修	验证	3-4	
8	活性炭吸附实验	3	必修	综合	3-4	
9	曝气设备清水充氧性能测定实验	3	必修	综合	3-4	
10	污水充氧修正系数 α 、 β 值测定实验	3	必修	综合	3-4	
合计		16				

五、实验项目的具体内容:

实验一 混凝沉淀实验

混凝沉淀实验是水处理基础实验之一，广泛用于科研、教学和生产中。针对某水样，通过混凝沉淀实验，选择混凝剂种类，投加量，确定最佳混凝条件。本实验为综合性实验。

1.实验目的

- (1)、应用混凝理论,模拟实际混凝过程。
- (2)、针对某水样,通过几种混凝剂的混凝沉淀效果比较,选择最佳混凝剂和确定混凝最佳条件。
- (3)、观察“矾花”的形成过程和混凝沉淀效果。
- (4)、本指导书仅供学生参考,学生根据实验要求,查找相关的专业书籍,确定实验条件和实验方法。

2.实验原理

实验过程中,以流速梯度 G 和 GT 值作为相似准数.通过搅拌作用,模拟实际生产中的混合反应的水力条件;针对某水样,利用少量源水,选择所需的最佳混凝剂和确定混凝最佳条件。

混合或反应的速度梯度 G 值:

$$G = \sqrt{P/\mu} \text{ 秒}^{-1} \quad (1)$$

式中: P --在同一体积内每一立方米水搅拌时所需的平均功率 ($\text{kg}\cdot\text{m}/\text{m}^2\cdot\text{s}$)

μ --水的动力粘滞系数 ($\text{kg}\cdot\text{s}/\text{m}^2$)

P 值:

$$P = 1000 f \omega$$

式中: f --校正系数.

ω --搅拌功率 ($\text{kg}\cdot\text{m}/\text{s}$)

$$\omega = 14.35 d^{4.38} n^{2.69} \rho^{0.69} \mu^{0.31} \quad (2)$$

式中: n --搅拌机叶片转速 (转 / 分)

d --叶片直径

ρ --水的密度 ($1000/9.81\text{kg}\cdot\text{s}^2/\text{m}^2$)

μ --水的动力粘滞系数 ($\text{kg}\cdot\text{s}/\text{m}^2$)

公式 (2) 仅适合于图 1 所示浆板搅拌的尺寸关系同时要求雷诺数在 $10^2 \sim 5 \times 10^4$ 的范围内。

$$Re = nd^2 \rho / \mu$$

当叶片和水体间尺寸与图一不符时,则由公式(2)求得的功率 ω 乘以校正系数 f 。

$$f = (D/3d)^{1.1} (H/D)^{0.6} (4h/d)^{0.3}$$

式中: D —搅拌筒直径

H --搅拌筒水深

h --叶片高度

校正系数 f 适用于 $D/d=2.5\sim 4.0$, $H/D=0.6\sim 1.6$, $h/d=1/5\sim 1/3$ 的情况。

水的动力系数(μ)与水温的关系

温度 $t^\circ\text{C}$	$\mu(10^{-6}\text{kg}\cdot\text{s}/\text{m}^2)$	温度 $t^\circ\text{C}$	$\mu(10^{-6}\text{kg}\cdot\text{s}/\text{m}^2)$
10	133.0	25	90.6

15	116.5	30	81.7
20	102.0	35	73.6

3.需用的仪器、试剂或材料

搅拌器、浊度仪、酸度计、混凝剂：硫酸铝、氯化铁、聚合硫酸铝、聚合氯化铁，聚丙烯酰胺等

4.实验步骤

- (1) 熟悉搅拌器、浊度仪和酸度计的使用,测量搅拌器叶片及水体容积的尺寸。
- (2) 测量源水样的浑浊度、水温及批 pH 值。
- (3) 根据相关资料, 选择几种不同的混凝剂, 配制一定浓度的混凝剂。
- (4) 启动搅拌器,设置实验条件。混合阶段: 转速为 250 转/min~300 转/min, 反应阶段: 转速为 40 转/min~50 转/min, 搅拌时间 10~15 分钟。注意待搅拌机转速稳定后加药剂混合。
- (5) 搅拌过程中观察各水样“颗粒凝聚现象”并记录“矾花”的形状。
- (6) 搅拌过程完成后停机,静止沉淀 15 分钟后测定水样沉淀后的剩余浊度,并计算去浊百分率: $P=(C-C_0)/C*100\%$ C--源水浊度 C₀--剩余浊度
- (7) 比较实验结果, 选出混凝效果较好的混凝剂, 根据其混凝效果较好的相近两个水样的混凝投加量, 以其为依据, 进行第二次实验, 步骤相同, 以求得较准确的最佳投药量。

5.教学方式

以学生操作为主, 指导老师讲授, 示范操作为辅, 教师在实验过程中及时答疑。

实验题目; (2) 报告及同组人姓名; (3) 实验日期; (4) 实验目的; (5) 实验原理; (6) 实验装置流程图及设备规格、型号说明; (7) 实验数据原始记录列表 (表格形式); (8) 典型计算示例 (以一组实验数据为例); (9) 实验数据的整理 (包括计算数据及结果数据) 列表; (10) 实验结果 (可以图示法、列表法及经验式表示); (11) 结论与思考题、误差分析。

姓名_____ 实验日期_____

原始记录:

搅拌设备名称: _____ 搅拌浆片尺寸及水体容积尺寸: _____

烧杯编号	1	2	3	4	5	6
源水浊度						
源水 PH 值						
混凝剂名称						
混凝剂剂量 mg/l						

反应情况	矾花出现时间						
	矾花大小						
	矾花形状						
沉淀水	浑浊度						
	PH 值						
	去浊百分率						

1、计算:混合阶段 G、GT 值; 反应阶段 G、GT 值.

2、绘制:加药量与去浊百分率关系曲线(用坐标纸画,横坐标为加药量,纵坐标为去浊率)。

思考题: (1) 混凝实验对生产有何意义? (2) G、GT 值相同其混合反应效果是否一致? 为什么?

实验二 絮凝沉淀实验

1. 实验目的:

- (1) 掌握沉淀实验的方法。
- (2) 作出所给水样的沉淀曲线, 从而根据所需去除悬浮物百分率选择最佳沉降速度、沉淀时间。

2. 实验原理:

沉淀实验是根据水力相似原理在一组静置沉淀筒中进行,本实验的沉淀速度模拟平流沉淀池的实际情况, u 取 0.2mm/s — 1.2mm/s 范围内进行。

设 h 为沉淀筒的水深, T 为沉淀时间, 则 $u_t=h/T_1$ 表示一定大小的颗粒恰巧能在 T 时间内从自由水面沉到筒底的沉淀速度,即为截留速度。

本实验用的静置沉淀筒如图 1 所示。进行测定时, 水样要先在六杆搅拌机上混合反应.混凝完成后, 即将水样倒入沉淀筒内至 432MM 处并开始记时, T_1 时间后, 分别打开各沉淀筒开关, 放水至 412MM 处。再测筒内剩余浊度, 计算出各筒悬浮杂质去除率, 即可制成水样在实验室条件下, 悬浮杂质去除率与时间 T 的关系以及悬浮物去除率与沉淀速度 u 的关系曲线。在本实验的条件下, $h=432\text{MM}$, T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 、 T_5 、 T_6 , 分别为 6、12、18、24、30、36 分钟。

又根据苏联 BO EO 研究所对许多悬浮物去除百分率与沉淀速度关系曲线的研究: 无论是经过凝聚处理还是未经凝聚处理的混水的沉淀, 上述曲线在沉淀速度为 $0.2\sim 1.2\text{MM/S}$ 范围内一般可以近似地用直线表示, 而误差最大不超过 8%, 只须对每一水样测点相应与沉淀

速度为 0.2 及 1.2mm/s，二点的悬浮物去除率即可绘出曲线，或所求得与任一悬浮杂质去除率相对应的沉淀速度。

设 A 表示沉淀速度为 1.2mm/s 的悬浮杂质去除百分率，B 表示沉淀速度为 0.2mm/s 的悬浮杂质去除百分率，其比 $S=A/B$ 称为悬浮杂质的沉淀性指数。

根据 A、B 值及相似三角形原理，可求得任一悬浮杂质去除率 y 相当的沉淀速度 u_y 。

$$u_y = 0.2 + (1.2 - 0.2)(B - Y) / (B - A) \\ = 0.2 + (B - Y) / (B - A) \text{ mm/s}$$

本实验将沉淀性指数进行观测，并计算其误差。

3. 所需仪器、器皿

六杆定时搅拌机	1 台
静置沉淀筒	6 根
浊度仪	1 台
1000ml 烧杯	6 只
100ml 量筒	6 只
10ml 吸管	1 支
温度计	1 支
秒表	1 块
PH 试纸	

4. 实验步骤

1、测定源水的浑浊度、水温、PH 值。

2、将水样倒入 6 个 1000ml 烧杯中，并按实验一得出的最佳投药量在六杆搅拌机中进行混合反应。

3、将已形成大矾花的水样分别徐徐倒入沉淀筒中（注意尽量不破坏矾花）。每个沉淀筒至 432mm 水深时，立即开启秒表并记录沉淀时间。

4、经 6、12、18、24、30、36 分钟后，分别从筒下部防除 30ml 锥形部分的沉淀水并测出沉淀筒中水样的剩余浊度。

6. 实验报告

实验者 _____ 日期 _____

静置沉淀筒直径 _____ 毫米，沉淀筒有效水深 _____ 毫米

源水浑浊度 _____ 水温 _____ PH _____

加混凝剂名称及剂量 _____

混合时间 _____ 分 混合时速度 _____ 转/分

反应时间 _____ 分 反应速度 _____ 转/分

测 定 结 果

沉淀筒序号	1	2	3	4	5	6
沉淀时间 T(分)	6	12	18	24	30	36
沉淀速度(毫米/秒)	1.2	0.6	0.4	0.3	0.24	0.2
沉淀水浑浊度(毫克/升)						
悬浮杂质去除百分率(%)						

绘制:

1、悬浮杂质去除百分率和沉淀时间的关系曲线(必须在计算纸上画,横坐标为沉淀时间,纵坐标为去除百分率)。

2、悬浮杂质去除百分率和沉淀速度的关系曲线(必须在计算纸上画,横坐标为沉淀速度,纵坐标为去除百分率)。

3、计算:该水样沉淀性指数 S, 并将 $u_1=1.2\text{mm/s}$ 及 $u_2=0.2\text{mm/s}$ 二点间联一直线比较曲线与直线吻合程度及求出最大的绝对误差。

思考题

1. 试述两种曲线分别代表的意义。
2. 若要去除源水中 60% 的悬浮杂质时,根据实验曲线应采用沉淀速度为多少? 今若有沉淀池深 2 M, 为保证上述去浊百分率需多长的沉淀时间?
3. 根据沉淀性指数, 试计算其去浊百分率为 60% 时, 其沉淀速度为多少?

实验三 过滤参数测定

1. 实验目的:

- (1) 通过实验学习和掌握测定过滤参数的方法。
- (2) 验证普通快滤池虑料层起始水头损失公式——欧根公式。

2. 实验原理:

欧根公式:

$$h_e = \frac{150\gamma(1-m_e)^2}{g.m_e^3} \left(\frac{1}{\Phi d_e}\right)^2 L_e v + 1.75 \frac{1.(1-m_e)}{g.\Phi d_e.m_e^3} L_e.v^2$$

适用于虑料层未膨胀,水通过均匀虑料层的水头损失计算,该公式与卡曼——康采尼公式相比,顺流层(第一项)常数值稍小,多了紊流项(第二项),故该式适用与层流'过滤区和紊流区,更接近实际情况但由于实际虑料层是非均匀虑料,故应用此公式时" d " 应用当量直径 " d_e " 来代替. 将实测的起始水头 h_e^1 . 与计算所得的 h_e 进行对比,检验该公式的正确性.

在实验过程中测得:

γ — 水的运动粘度 cm^2/s ;

v — 滤速度 cm/s ;

- m_e —滤料孔隙率;
- g —重力加速度, 981cm/s^2 ;
- d_e —砂的当量直径 cm ;
- L_e —滤层厚度 cm ;
- ϕ —滤料颗粒球度系数。

3. 实验步骤:

- 1、熟悉实验装置及操作方法。
- 2、测量过滤筒内径 D ; 滤层厚度 L_e ; 砂的当量直径 d_e ; 滤料孔隙率 m_e ; 滤料颗粒球度系数 ϕ ; 进水温度 $^{\circ}\text{C}$ 。
- 3、打开恒位水箱进水阀, 使水箱进水, 并保持水箱稍有溢水。
- 4、放尽管内锈水后, 开反冲洗进水阀使水慢慢上升至赶走砂层内全部空气, 然后关闭反冲洗进水阀。
- 5、打开过滤进水阀和过滤水出水阀, 待过滤筒的水位稳定在某一高度后, 用秒表及量水设备测量 t 和 Q 值 (t 值最少 30 秒), Q 值测量两次, 取平均值, 并记录。
- 6、从测压板上直接读取滤料层实际起始水头损失 h_e' 。
- 7、从大流量到小流量重复 5、6 步骤 10 次左右, 记录每次的 t 、 Q 和 h_e' 值。
- 8、应用欧根公式计算每次的 h_e 值, 检验欧根公式的正确程度。

实验报告

试验人: _____ 试验日期: _____ 水温: _____ $^{\circ}\text{C}$;
 试验装置编号; _____ 过滤筒内径 _____ cm ; 过滤面积 A _____ cm^2 ;
 水的运动粘度 ν _____ cm^2/s ; 滤料比重: _____ ;
 滤料层厚度 L_0 _____ cm . 滤料孔隙率 m_0 _____ ; 滤料颗粒球度系数 Φ

- 1、绘制 μ —— h_0 ; 与 μ —— h_0' 关系曲线进行比较。(用计算纸画, 横坐标为 μ , 纵坐标为 h_0 、 h_0')。
- 2、试分析 h_0 值与 h_0' 值产生差异的原因? 那些因素对起始水头影响较大?

编 号	实 测 滤 速					测压管水头		实测水 头损失 h_0' (cm)	计算水 头损失 h_0 (cm)	h_0 与 h_0' 差 值率 $\pm\%$
	时间 t (秒)	总流量 Q (升)	单 位 流 量 $q=\text{升}/$ 秒	$\mu = q/A$		h_0	h_1			
				cm/s	m/h					
1										
2										

实验四 过滤反冲洗实验

1. 实验目的:

- (1) 观察滤池反冲洗过程，加深感性认识。
- (2) 测定反冲洗时冲洗强度与膨胀率的关系。
- (3) 验证反冲洗强度的理论公式。

2. 实验原理:

反冲洗时，在滤料颗粒还未悬浮之前，上升水流渗透速度 v 越大，在滤料层中的压力损失 $p = \rho_s g h$ 越大，当 μ 增大到一定值时，无论水流速度如何增大，其压力损失均为常数，其值恒等于单位面积上颗粒在水中的重量：

$$p = \rho_s g (1 - m_0) L_0$$

同时，在反冲洗过程中，虽然砂层增厚，但其体积在膨胀前后是相等的。即： $(1 - m_0) L_0 = (1 - m) L$

所以： $p = (\rho_s - \rho) g (1 - m_0) L_0 = (\rho_s - \rho) g (1 - m) L = \rho g h$

$$h = (\rho_s - \rho) (1 - m_0) L_0 / \rho = (\rho_s - \rho) (1 - m) L$$

上述情况如下图：水头损失和冲洗流速关系所示，由图可见当反冲洗速度 $v \geq v_{mf}$ 时，滤层膨胀率不影响水流的水头损失。但是，冲洗强度与膨胀率直接有关。选择合适的冲洗强度达到一定膨胀度，既能将砂冲洗干净，而又不使砂流失，可通过实验求得最佳冲洗强度。冲洗强度 q 与砂的当量直径 d_e 、砂的孔隙率 m_0 、膨胀率 e 及水的绝对粘滞系数 μ 有如下关系：

$$q = 1.0 \cdot 10^4 d_e^{1.31} (e + m_0)^{2.31} / \mu^{0.31} (e + 1)^{1.11} (1 - m_0)^{0.56} L / s \cdot m$$

式中： q ：冲洗强度，升 / 米²·秒； d_e ：滤料当量直径，cm；

m_0 ：膨胀前的空隙率； e ：膨胀率；

μ ：水的绝对粘滞系数，克 / 厘米·秒

通过实验实测不同膨胀率的相应所需的冲洗强度，并于应用理论公式计算求得的冲洗强度进行比较，从而验证冲洗强度理论公式的正确性。

3. 实验步骤

- 1、熟悉实验装置操作规程，测量过滤筒内径 D (cm)、滤料层 L_0 (cm) 水温 t °C、 m_0 、 d_e 、 ρ_s 。
- 2、放尽管中锈水、及排尽滤层中的空气。
- 3、调整冲洗阀门，开始由 0 逐渐加大，(并保持砂层的膨胀率 $e = 0$)，观测测压管内的水头损失及冲洗流量(在砂层膨胀前测量二、三个点)、并加以记录。
- 4、调整冲洗阀门，使砂层处于膨胀的临界状态，并记录下砂层的水头损失及冲洗流量。
- 5、继续开大冲洗阀门，使砂层膨胀，其膨胀度由小到大，直至水头损失出现恒值至。记录各次的 e 值、 q 值及 h 值。

4. 实验报告

实验者 _____ 实验日期 _____ 过滤筒内直径 _____ cm; 过滤面积 A _____ cm²; 水温 _____ °C;
 滤料当量直径 d_e _____ cm; 砂比重 _____ 滤料孔隙率 m_0 _____
 水的绝对粘滞系数 μ _____ 克 / 厘米·秒 ; 砂层厚度 L_0 _____ cm。

编号	滤层厚度	膨胀率 $e=(L-L_0)/L_0$	$(e+m)^{2.31} / (e+1)^{1/7} (1-m)^{0.54}$	实测冲洗强度 q			实测水流速度 v		理论计算冲洗强度 q^1 升/秒*米 ²	测压管水头 (cm)		实测水头损失 h^1 (cm)	理论水头损失 h (cm)
				t /s	Q	$q=Q/A*t$	厘米/秒	米/日		h_B	h_A		
1													
2													

1、绘制 $h-\mu$ 曲线，求得 μ_{mf} 值？（用计算纸绘制）

2、绘制 $h-e$ 和 $q-e$ 曲线， 并进行比较。（用计算纸绘制）

思考题：

(1) 为什么公式 $h=(\rho_s-1)(1-m_0)L_0$ 可用来计算反冲洗的滤层水头损失？能否用于计算接触过滤的滤层水头损失？为什么？

(2) 普通快滤池设计规范中规定滤池反冲洗强度采用 $12 \sim 15$ 升/秒*米²、膨胀率采用 45% ，通过实验你认为设计中采用这些参数是否合理？为什么？

注： h_A ：滤层表面水压标高。

h_B ：滤层底面水压标高，或集水室水压标高减去穿孔滤板水头损失。

穿孔滤板水头损失按公式 $h_0=(q/\alpha\beta)^2*10^{-6}/2g(m)$ 计，式中 q ：冲洗强度升/米²*秒；流量系数 $\alpha=0.75$ β ：孔板开孔率为 0.0234

实验五 软化实验

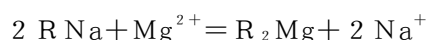
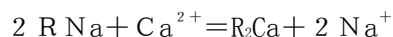
1.实验目的：

1、通过实验，加深理解离子交换进行软化处理的原理，熟悉顺流再生固定床离子交换软化水的一般操作过程。

2、测定 $001 \times 7 (732^{\#})$ 强酸性苯乙烯阳离子交换树脂的有效交换容量。

2.实验原理

水中含有 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 离子，而使水产生硬度，当水通过阳离子交换柱时，水中的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 离子便与离子交换树脂中的可交换离子（Na 或 H 等离子）交换，采用 001×7 阳离子交换树脂则水中的 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 与 Na^+ 离子进行交换，经过一段时间交换后，树脂失效。失效的阳树脂通过高浓度 NaCl 溶液进行再生可恢复软化能力再使用。经过再生后，树脂能起交换作用的容量称为有效交换容量。软化和再生过程化学式：



本实验进行交换→反冲洗→再生→正洗全过程，并测定 007×1 型阳离子交换树脂的有效交换容量。

3.实验仪器、器皿

器		皿		药 品		
名称	规格	数量	用途	名称	浓度	
滴定台架		1	硬度滴定	E D T A 标准溶液		
酸滴定管	5 0 ml	1	硬度滴定	铬黑 T 指示剂		
移液管	1 0 ml	1	移药	氯化氨缓冲溶液		
洗耳球	1 0 0 ml	1	移药	食盐 NaCl		
量筒	1 0 0 0 ml	1	测流量	Na ₂ S O ₄ * 8 H ₂ O		
烧杯	1 0 0 0 ml	2	取软水样	仪 器		
三角瓶	2 5 0 ml	4	硬度测定	名称	型号	编号
钢卷尺	2 0 0 0 mm	1	测树脂膨胀率	酸度计		
温度计	0 ~ 5 0 ℃	1	测原水温度			
秒表		1	校核流量			

4. 实验步骤

- 1、熟悉实验装置，搞清每一条管路、每个止水夹的作用。
- 2、测定原水水质，并将所得数据填入记录表格。
- 3、实验开始，首先将交换柱内树脂进行一次反冲洗（历时约 1~2 min），以便去除气泡，反冲洗流速采用 1.5 m/h 即可。
- 4、软化。交换流速采用 1.5 m/h，每隔 5~10 min，测定一次出水硬度，直至出水硬度同原水硬度，并将每次测的数据填入记录表。
- 5、当出水硬度同原水硬度时停止交换，进行反冲洗。冲洗流速采用 1.5 m/h，历时 5 min。
- 6、再生。用 NaCl 溶液进行再生，再生流速采用 3~5 m/h，再生时间约为 10~15min，并将树脂在盐液中浸泡约 3min。
- 7、正洗。流速采用 1.5 m/h，历时约 10min，每隔 5 min，测定一次出水硬度，直至出水硬度同正洗水硬度一样时，停止正洗。
- 8、清洗结束，将所有止水夹关闭，交换柱内必须保持满水

实验六 溶气气浮实验

1. 实验目的

- (1) 加深对气浮原理及气浮规律的理解，并掌握加压溶气气浮工艺。
- (2) 通过实验观察回流比处理效果的关系。

2. 实验原理

利用微小的空气气泡与污水中低密度的悬浮颗粒相依存，以减少悬浮颗粒的比重，并使之被强制上浮的原理，从而达到把悬浮颗粒从液体中分离出来的目的。

3. 实验器材

- 1、气浮装置、空压机、浊度仪；
- 2、原水、量筒、烧杯、秒表。

4. 实验步骤

1、制备溶气水

a、将自来水加入加压容器中，体积为容器的（2/3~3/4），打开空压机将压缩空气进入容器，在压力为 0.3~0.4Mpa 之间维持 5 分钟。

b、摇动加压罐 1—2 分钟并静止 3 分钟，使罐内空气达到饱和，并维持容器中压力不变。

2、将一定量原水加入气浮柱中，并测浊度。

3、将按预定的回流比（ $R=0.4,0.6,0.8$ ）释放一定体积的加压水到气浮柱中。通过释放器释放的加压回流水的流速应控制在不剪切气浮柱中原水的悬浮颗粒，但要维持足够的混合及气液的接触。

3、在气浮分离完后，（通常为 10—20）从取样口取水样，并测定其浊度。

4、按照不同的回流比反复完成上述步骤。

5. 实验报告

实验者姓名_____ 实验时间_____

1、实验数据

溶气压 Mpa	回流比 R	原水体积 ml	出水浊度	水位 (l)	原水浊度

2、结果整理

以回流比为纵坐标，出水浊度为横坐标，推求回流比与出水浊度的关系曲线。

3、思考题：影响加压溶气气浮的因素有哪些？

实验七 成层沉淀实验

1. 实验目的

- (1)、加深对成层沉淀的特点，基本概念，以及沉淀规律的理解。
- (2)、通过实验获的某种污水静沉曲线，为设计澄清浓缩池提供必要的设计参数。

2. 实验原理

浓度大于某值的高浓度水，不论其颗粒性质如何，颗粒的下沉均表现为浑液面的整体下沉，颗粒间达到相互位置保持不变，颗粒的下沉速度即为浑液面等速下沉速度。该速度与原水浓度有关，而与沉降深度无关。但沉降有效水深影响压缩区压实程度。

以深度高度为纵轴，以沉淀时间为横轴，所绘得的 $H \sim t$ 曲线称为成层沉淀曲线，取 $H \sim t$ 的直线段，求斜率，可得沉降速度 U 。

3. 需用的仪器、试剂或材料

秒表、沉淀筒、搅拌棍、卷尺、混凝剂。

4. 实验步骤

(1)、取实验水样搅拌均匀，放入沉淀筒，开始记时。

(2)、仔细观察，记录浑液面出现的时间，浑液面沉淀初期，开始头 10 分钟，以 1 分钟为间隔，以后以 5 分钟为间隔，记录浑液面的高度，直至沉降结束。

5. 教学方式

以学生操作为主，指导老师讲授，示范操作为辅，教师在实验过程中及时答疑。

实验报告一律用学校规定的报告纸书写，报告内容应包括以下项目：

实验题目；(2) 报告及同组人姓名；(3) 实验日期；(4) 实验目的；(5) 实验原理；(6) 实验装置流程图及设备规格、型号说明；(7) 实验数据原始记录列表（表格形式）；(8) 典型计算示例（以一组实验数据为例）；(9) 实验数据的整理（包括计算数据及结果数据）列表；(10) 实验结果（可以图示法、列表法及经验式表示）；(11) 结论与思考题、误差分析。

姓名_____

实验日期_____

原始记录：

沉淀时间（分）	浑液面高度（cm）	沉淀时间（分）	浑液面高度（cm）

(1) 以沉淀时间为横坐标，沉淀高度为纵坐标，绘 H~t 关系曲线。

(2) 取 H~t 直线段，求斜率。

(3) 以混合液浓度 C 为横坐标，以沉速 u 为纵坐标，绘图的 C~u 曲线

(4) 根据 C~u 曲线，计算静沉固体通量 Cs，并以 Cs 为纵坐标，污泥浓度为纵坐标，绘制沉淀固体通量曲线，并根据需要可求得排泥固体通量线。

实验八 活性炭吸附实验

1. 实验目的

(1) 了解活性炭的吸附工艺及性能，熟悉整个实验过程的操作。

(2) 掌握“间歇”法与“连续流”法确定活性炭吸附工艺设计参数的方法

2. 实验原理

利用活性炭的固体表面对水中一种或多种物质的吸附作用，达到净化水质的目的。当活性炭在溶液中的吸附速度和解吸速度相等时，即单位时间内活性炭吸附的数量等于解吸的数量时，此时被吸附物质在溶液中的浓度和在活性炭表面的浓度均不再变化，而达到了平衡，此时的动态平衡称为活性炭吸附平衡。而此时被吸附物质在溶液中的浓度称为平衡浓度。活性炭的吸附能力以吸附量 q 表示

$$q = \frac{V(C_0 - C)}{M} = \frac{X}{M} \quad q=K \cdot C^{1/n}$$

$$\lg q = \lg k + 1/n \cdot \lg C$$

3. 需用的仪器、试剂或材料

721 分光光度计、振荡器、锥形瓶、漏斗、漏斗架，试管架，比色管，量筒，移液管，亚甲基蓝，活性炭，吸耳球，洗瓶，滤纸

4. 实验步骤

(1) 做亚甲基蓝标准曲线：用移液管分别吸取 0ml、2 ml、6 ml、10 ml、14 ml、18 ml 亚甲基蓝使用液 ($\lambda = 660$, 10mg/L) 于比色管中，定容到 25ml，测定各 A，绘制 A-C 关系曲线。

(2) 间歇法活性炭吸附试验：

用量筒分别量取 100ml 亚甲基蓝原液 (100ml) 与 5 个锥形瓶中。在 5 个锥形瓶中投加 100mg、150 mg、200 mg、250 mg、300 mg 的粉状活性炭。将 5 个锥形瓶放入振荡器中振荡 1 小时，达到吸附平衡时，停止振荡。过滤锥形瓶中的液体，测定其剩余吸光度，对照标准曲线，查出对应亚甲基蓝浓度 C_i ($i = 1, 2, 3, 4 \dots$)，求出吸附量 q

5. 教学方式

以学生操作为主，指导老师讲授，示范操作为辅，教师在实验过程中及时答疑。

实验报告一律用学校规定的报告纸书写，报告内容应包括以下项目：

实验题目；(2) 报告及同组人姓名；(3) 实验日期；(4) 实验目的；(5) 实验原理；(6) 实验装置流程图及设备规格、型号说明；(7) 实验数据原始记录列表 (表格形式)；(8) 典型计算示例 (以一组实验数据为例)；(9) 实验数据的整理 (包括计算数据及结果数据) 列表；(10) 实验结果 (可以图示法、列表法及经验式表示)；(11) 结论与思考题、误差分析。

姓名_____ 实验日期_____

原始记录：

(1) 亚甲基蓝标准曲线

浓度 C						
A						

(2) 活性炭吸附曲线

序号	污水体积 V(ml)	活性炭投加量 (mg)	原水浓度 C(mg/L)	剩余水吸光度 A	剩余水浓度 C(mg/L)	活性炭吸附量 q (g/g)
1						
2						

绘制吸附等温线，求出 k、n

思考题：吸附等温线有什么现实意义？做吸附等温线时为什么要用粉状炭？

实验九 曝气设备清水充氧性能测定

1. 实验目的

(1) 了解曝气设备清水充氧性能的实验方法, 加深对曝气设备清水充氧机理性能的理解。

(2) 测定几种不同曝气设备氧的总转移系数 K_{La} 。

2. 实验原理

曝气的作用是向液相供给溶解氧。氧由气相转入液相的机理常用双膜理论来解释。双膜理论是基于在气液两相界面存在着两层膜(气膜和液膜)的物理模型。气膜和液膜对气体分子的转移产生阻力。氧在膜内总是以分子扩散方式转移的, 其速度总是慢于在混合液内发生的对流扩散方式的转移。所以只要液体内氧未饱和, 则氧分子总会从气相转移到液相的。

根据氧传递基本方程 $(dc/dt) = -k_{La}(C_s - C)$ 积分整理后得到的氧总转移系数:

$$K_{La} = \frac{2.303}{t - t_0} \lg \frac{C_s - C_0}{C_s - C_t}$$

将待曝气之水脱氧至零后, 开始曝气。把液体中溶解氧的浓度 C_t 作为时间 t 的函数。曝气后每隔一定时间 t 取曝气水样, 测定水中溶解氧浓度, 从而利用上式计算 K_{La} 值。或是以亏氧量 $(C_s - C_t)$ 为纵坐标, 以时间 t 为横坐标, 在半对数格纸上绘图, 直线斜率即为 K_{La} 值, 其中 C_s 为曝气池内液体饱和溶解氧值。

3. 需用的仪器、试剂或材料

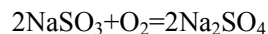
溶解氧测定仪; 天平、秒表、量筒; 无水亚硫酸钠、氯化钴

4. 实验步骤

(1) 正确调试溶解氧测定仪, 使之处于工作状态。

(2) 在曝气罐中装入自来水 8 升, 测定水中的溶解氧值, 计算罐内溶解氧量 $G = DO \cdot V$ 。计算投药量:

a、脱氧剂采用无水亚硫酸钠:



由此, 则投药量 $g = G \times 8 \times (1.1 \sim 1.5)$ 1.1~1.5 值是为脱氧安全而采取的系数。

b、催化剂采用氯化钴, 投加浓度为 0.1mg/l, 将所称得的药剂用温水化开, 倒入曝气罐内, 几分钟后测定水中的溶解氧值。

(3) 当水中的溶解氧值为零后, 打开空压机, 开始曝气, 并记录时间, 同时每隔一定时间(一分钟)读取一次溶解氧值, 连续读取 10—15 个数值, 然后拉长间隔, 直至水中溶解氧达到饱和为止, 停止曝气, 并测试罐内水温。

(4) 更换不同曝气设备, 重复 1~3 步骤进行实验, 并计算其 K_{La} 。

5. 教学方式

以学生操作为主, 指导老师讲授, 示范操作为辅, 教师在实验过程中及时答疑。

实验题目; (2) 报告及同组人姓名; (3) 实验日期; (4) 实验目的; (5) 实验原理; (6) 实验装置流程图及设备规格、型号说明; (7) 实验数据原始记录列表(表格形式); (8) 典

型计算示例（以一组实验数据为例）；（9）实验数据的整理（包括计算数据及结果数据）列表；（10）实验结果（可以图示法、列表法及经验式表示）；（11）结论与思考题、误差分析。

姓名_____ 实验日期_____

原始记录：

t	C _t	C _s -C _t	Lg(C _s -C _t)	t	C _t	C _s -C _t	Lg(C _s -C _t)

- 根据 K_{la} 计算公式计算不同曝气设备的 K_{la} ；
- 以时间 t 为横坐标， $\lg(C_s-C_t)$ 为纵坐标绘图，求不同曝气设备 K_{la} 值。

思考题：

- 曝气在生化处理中的应用。
- 曝气原理及影响因素。
- 氧的总转移系数 K_{la} 的意义。

实验十 污水充氧修正系数 α 、 β 值的测定

1. 实验目的

- 了解、掌握、测定 α 、 β 值的实验设备，方法及步骤。
- 测定某种污水在曝气罐中的 α 、 β 值。
- 进一步加深理解生化处理曝气的过程及 α 、 β 值在设计曝气设备是的意义。

2. 实验原理

由于氧的转移受到水中溶解有机物、无机物等的影响，造成同一曝气设备在同一曝气条件下清水和污水的转移速率不同，水中充氧的饱和浓度不同，为此引入修正系数 α 、 β 值。

$$\alpha = K_{la \text{ 污水}} / K_{la \text{ 清水}} \quad \beta = C_{s \text{ 污水}} / C_{s \text{ 清水}}$$

由此可知， α 、 β 的测定实际上就是分析测定同一曝气设备在清水和污水充氧的总转移系数，及饱和溶解氧值。

3. 需用的仪器、试剂或材料

溶解氧测定仪；天平、秒表、量筒；无水亚硫酸钠、氯化钴

4. 实验步骤

- 正确调试溶解氧测定仪，使之处于工作状态。

在曝气罐中装入污水 8 升，测定水中的溶解氧值，计算罐内溶解氧量 $G=DO \cdot V$ 。

计算投药量

氧剂采用无水亚硫酸钠： $2NaSO_3+O_2=2Na_2SO_4$

由此，则投药量 $g=G*8(1.1 \sim 1.5)$ 1.1~1.5 值是为脱氧安全而采取的系数。

- 催化剂采用氯化钴，投加浓度为 0.1mg/l，将所称得的药剂用温水化开，倒入曝气罐内，几分钟后测定水中的溶解氧值。

当水中的溶解氧值为零后，打开空压机，开始曝气，并记录时间，同时每隔一定时间（一分钟）读取一次溶解氧值，连续读取 10~15 个，然后拉长间隔，每隔 5 分钟读取一次溶解氧值，直至水溶解不在增长（达到饱和）为止，停止曝气，并测试罐内水温。求出污水的 $K_{la w}$ 及 C_s 。

5. 教学方式

以学生操作为主，指导老师讲授，示范操作为辅，教师在实验过程中及时答疑。

实验报告一律用学校规定的报告纸书写，报告内容应包括以下项目：

实验题目；(2) 报告及同组人姓名；(3) 实验日期；(4) 实验目的；(5) 实验原理；(6) 实验装置流程图及设备规格、型号说明；(7) 实验数据原始记录列表（表格形式）；(8) 典型计算示例（以一组实验数据为例）；(9) 实验数据的整理（包括计算数据及结果数据）列表；(10) 实验结果（可以图示法、列表法及经验式表示）；(11) 结论与思考题、误差分析。

姓名

实验日期

原始记录：

t	C_t	$C_s - C_t$	$Lg(C_s - C_t)$	t	C_t	$C_s - C_t$	$Lg(C_s - C_t)$

由公式计算 $K_{la w} =$

$\alpha =$

$\beta =$

以时间 t 为横坐标， $lg(C_s - C_t)$ 为纵坐标绘图求 $K_{la w}$ 。

思考题：

- 1、 α 、 β 值的测定有何意义？
- 2、影响 α 、 β 的因素有哪些。有机物为何影响 α 值，无机盐类为何影响 β 值？

六、 实践教学 中应注意的问题

1. 组织管理的要求：

依据教学大纲和教材要求制定的学期教学计划，包含实验教学进度。实验教学写出实验教案，以明确实验目的、课时和实验内容。并严格按此计划组织、实施教学。实验中根据学校实验室条件尽可能多分组，减少每组人数，以培养学生动手和独立思考、独立分析解决问题的能力。

2. 对教师的要求：

- (1) 对每个实验都要认真准备，包括试做、试讲实验要领等。
- (2) 在实验教学过程中，教师的引导、辅助是很重要的，但不能为此而取代学生的操作过程，更要关注学生的操作细节是否规范。
- (3) 及时认真地批改实验报告，进行评分登记，每次实验结束后应实事求是地写好实验教学记录。
- (4) 积极开展实验教学研究，改革陈旧的实验项目、实验内容和实验方法，不断提高

实验教学质量。

3. 对学生的要求:

- (1) 实验前对实验内容进行预习, 书写预习报告, 实验前交给老师并进行签到;
- (2) 在实验室要遵守实验室规章制度, 听从实验老师安排;
- (3) 实验中注意安全、爱护实验仪器。
- (4) 实验结束后要清洁实验台面、清洗好实验用玻璃仪器; 并打扫实验室卫生。

4. 对教学基地、实验室和实验员的要求:

实验前实验员应根据实验分组情况将实验用的仪器、试剂、溶液等准备好。实验过程中, 并对学生实验进行指导。

七、教材及主要参考书

1、选用教材:

自编实验教材

2、主要参考书:

谢水波, 姜应和主编, 《水处理工程学》(上、下册) 第一版, 机械工业出版社, 2010年

李燕城主编, 《水处理实验技术》第二版, 中国建筑工业出版社

张希衡等编《水污染控制工程》, 北京: 冶金工业出版社(2001)

《当代给水与废水处理原理》, 许保玖编著, 高等教育出版社;

南华大学给排水实验室编, 《水处理实验指导书》

八、教改说明及其他

执笔人: 刘迎九 陈胜兵 **系室审核人:** 王劲松

3. 《环境工程实验 1》实验教学大纲

experiments(I) for environmental engineering

课程编号：0810010160112

课程类别：独立开设实验课程

学时：48（总学时 48 实验学时 48） 学分：1.5

适用对象：环境工程专业

先修课程：环境工程微生物学、环境监测与分析化学、环工原理与设备

一、课程的性质与任务

“环境工程实验 1”包括“环境工程微生物学”、“环工原理与设备”课程全部与“环境监测与分析化学”课程部分实践教学环节之一，目的是为了进一步巩固和加深课堂所学的理论知识、验证相关的原理，培养和锻炼学生拟定实验方案、独立观察、测定、分析、处理实验数据、以及撰写实验报告的能力，提高学生实验研究的综合素质。

二、教学的目的与要求

1. 教学目的

- 1) 掌握实验所用仪器、设备的基本原理和操作、使用方法。
- 2) 掌握所开实验的基本知识内容。
- 3) 熟练掌握实验的操作步骤。
- 4) 对实验数据进行处理、分析实验结果和书写实验报告。
- 5) 培养学生独立实验、设计实验方案和初步的创新能力。

2. 教学要求

- 1) 在实验课中，开课教师应向学生讲明该课程实验的教学要求、实验课安排和进度、实验考核方法、实验报告要求和实验室的管理要求。
- 2) 每次实验之前，学生必须对实验内容进行预习，作出预习报告方可进行实验。
- 3) 实验分组进行，在规定的学时内由学生本人独立操作，实验中应分工负责，指导教师负责解答实验过程中出现的各种问题和学生的疑问，引导学生掌握方法，教师不得包办代替。
- 4) 实验过程中，学生应认真记录实验数据，每次实验结果需经教师认可确认。
- 5) 任课教师要认真做好每次实验的准备工作，实验过程中做好学生实验情况记录。

三、考核方式及办法：

考核方式：考察，实验成绩由实验过程中学生的表现和实际动手能力、撰写实验报告两部分构成。

成绩评定办法：实验操作：40%，实验报告：60%。

四、实验项目名称与学时分配：

《环境工程实验 1》实验项目安排一览表

序号	实验项目名称	学时分配	必开或选开	实验类型	分组人数	实验模块
1	光学显微镜的操作及微生物形态观察	2	必开	验证	2	基础类
2	微生物细胞的计数与测量	2	必开	验证	2	
3	培养基的配制与灭菌	2	必开	验证	3	
4	土壤微生物的稀释、分离、接种与培养	2	必开	验证	3	
5	细菌的简单染色和革兰氏染色	2	必开	验证	3	
6	恒压过滤实验	4	必开	验证	4	
7	传热实验	4	必开	验证	6	
8	填料塔吸收实验	4	必开	综合	6	
9	振动筛板萃取实验	4	必开	验证	6	
10	电子天平称量练习	2	必开	验证	2	
11	滴定分析的基本操作	4	必开	验证	2	
12	水中碱度的测定	2	必开	验证	2	环境类
13	水质指标测定	6	必开	综合	2	
14	邻二氮菲分光光度法测定水中 Fe^{2+}	2	必开	验证	2	
15	湘江水质分析	6	必开	综合	4	
16	交通噪声监测	4	必开	设计	4	
17	空气质量监测综合实验	6	必开	综合	4	

五、实验项目的具体内容：

实验一 光学显微镜的操作及微生物形态观察

见《给排水工程实验 1、2》实践教学大纲，实验十四

实验二 微生物细胞的计数与测量

见《给排水工程实验 1、2》实践教学大纲，实验十五

实验三 培养基的配制与灭菌

见《给排水工程实验 1、2》实践教学大纲，实验十六

实验四 土壤微生物的稀释、分离、接种与培养

见《给排水工程实验 1、2》实践教学大纲，实验十七

实验五 细菌的简单染色和革兰氏染色

见《给排水工程实验 1、2》实践教学大纲，实验十八

实验六 恒压过滤实验

1. 实验目的

在一定真空度下进行恒压过滤，测定其过滤常数 K 、 q_e 和 θ_e ；改变压强测定压缩性指数 S 和物料特性常数 K ；加深对过滤操作中各影响因素的理解。

2. 实验原理

过滤是将悬浮液中的固液两相有效地进行分离的一种常用的单元操作。在外力作用下，悬浮液中的液体通过介质的孔道而固体颗粒被截留下来，从而实现固液分离。因此过滤在本质上是流体通过颗粒层的流动，所不同的仅仅是固颗粒层厚度随时间的延长而增加，因而在过滤压差不变的情况下，单位时间得到的滤液量也在不断下降，即过滤速度不断降低。

单位时间透过单位滤面积的滤液量称为过滤速度：

$$dV/Ad\theta = dq/d\theta = \mu$$

式中： A ——过滤面积， m^2

θ ——过滤时间， S ；

V ——透过过滤介质的滤液体积量， m^3 ；

$dq/d\theta$ ——过滤速度， m/s 。

影响过滤速度的主要因素有压强差 ΔP ，滤饼厚度 L ，滤饼和悬浮液的性质，悬浮液温

度等。

过滤基本方程式的一般形式为：

$$dV/d\theta = A^2 \Delta P^{1-s} / v \gamma' \mu (V+V_e)$$

其中： γ' ——单位压强差下滤饼的比阻， $1/m^2$ ；

S ——滤饼的压缩指数，无因次。一般情况下 $S=0\sim 1$ ，不可压缩的滤饼 $S=0$ ；

v ——滤饼体积与相应的滤液体积之比，无因次；

V ——滤液量， m^3 ；

V_e ——虚拟滤液量， m^3 。

恒压过滤时，对上式积分可得： $(q+q_e)^2 = K(\theta + \theta_e)$

其中： q ——单位滤饼面积的滤液量， $q=V/A$ ， m^3/m^2 ；

θ ——过滤时间 S ；

q_e 、 θ_e ——介质常数，反映过滤介质阻力大小；

K ——滤饼常数，由物料特性及过滤压差所决定的常数。

$$K=2k\Delta P^{1-s} \text{ 其中 } k=1/\mu \gamma' v$$

q_e 、 θ_e 、 K 三者总称为过滤常数。

但实际上 K 和 q_e 只能在实验测定后，方程式才有实用价值，变换得： $d\theta/dq=2/K \cdot q+2/K \cdot q_e$

为了便于根据测定的数据计算过滤常数，上式左端，以 $\Delta\theta/\Delta q$ 代之，在过滤面积 A 上对待测的悬浮液料浆进行恒压过滤实验，测出一系列时间 θ 的累计滤液量 V ，并由此计算一系列 q ，得到相应的 $\Delta\theta$ 与 Δq 之值，在直角坐标系中标绘 $d\theta/dq$ 与 q 之间的函数关系，得一直线。由直线的斜率和截距，可求得 K 和 q_e 。或将 $d\theta/dq$ 与 q 的数据用最小二乘法求取 $2/K+2/K \cdot q_e$ ，再用 $q^2=K \times \theta_e$ ，求 θ_e 。

改变实验所用过滤压差 ΔP ，可测得不同的 K 值，由 K 的定义式两边取对数得：

$$\lg K = (1-S) \lg(\Delta P) + \lg(2k)$$

当 k 为常数时，在对数坐标上标绘的 K 与 ΔP 应是条直线。直线的斜率为 $(1-S)$ 。由此可得滤饼的压缩指数 s 。然后代入求出物料特性常数 k 。

3. 需用的仪器、试剂或材料

过滤装置由真空吸滤器、滤浆槽、搅拌桨、计量筒、真空泵等组成；秒表、尺；碳酸钙。

4. 实验步骤

熟悉实验装置流程，自拟实验步骤。

(1) 本实验用 $CaCO_3$ 颗粒配制浓度为 10% 的滤浆，其量约占配料槽 $1/3\sim 1/2$ 。为防止沉淀，应启动搅拌桨适速搅拌，但太快会影响滤饼形成，甚至搅下滤纸。

(2) 刚开始实验时，宜先采用小的过滤压差进行实验。

(3) 建议以计量筒中开始见到滤液的时刻作为恒压过滤的零时刻，然后用秒表计时，定时读取计量筒的液位值，并记录。

(4) 改变压差重复实验。

注意：

不要使液体吸入真空系统，一旦发现可能吸入缓冲罐，马上关接真空阀和真空泵；保持实验过程中压强差稳定；引用另一压差之前，应先清除滤饼；在不同压差下进行过滤实验，应尽量维持料浆的浓度恒定不变。

5. 教学方式

以学生操作为主，指导老师讲授，示范操作为辅，教师在实验过程中及时答疑。

实验报告一律用学校规定的报告纸书写，报告内容应包括以下项目：

实验题目；(2) 报告及同组人姓名；(3) 实验日期；(4) 实验目的；(5) 实验原理；(6) 实验装置流程图及设备规格、型号说明；(7) 实验数据原始记录列表（表格形式）；(8) 典型计算示例（以一组实验数据为例）；(9) 实验数据的整理（包括计算数据及结果数据）列表；(10) 实验结果（可以图示法、列表法及经验式表示）；(11) 结论与思考题、误差分析。

姓名_____ 实验日期_____

原始记录：

过滤面积 真空度 滤浆浓度 水温

过滤时间 s	滤液量 mL

- 1、以 $d\theta/dq$ 为 y 轴，以 q 为 x 轴作图，求 K , q_e , θ_e 的值；
- 2、在对数坐标纸上绘标 $K-\Delta P$ 曲线求出 s 和 k ；
- 3、对实验中遇到的问题进行必要的讨论分析。

实验七 传热实验

1. 实验目的

熟悉传热实验的实验方案设计及流程设计；了解换热器的基本构造与操作原理；掌握热量衡算与传热系数 K 及对流传热膜系数 a 的测定方法；了解强化传热的途径及措施。

2. 实验内容

传热实验是在实验室条件下的教学实验，用仪表考察冷热流体在套管式换热器中的传热过程，其理论基础是传热基本方程牛顿冷却定律及热量平衡关系。由传热基本方程得：

$$Q=K \cdot A \cdot \Delta t_m$$

式中 K ——传热系数 (W/m^2K)

A ——换热器的传热面积 (m^2)

Δt_m ——平均温度差 (K)

Q ——传热量

由上式可得 $K=Q/A\Delta t_m$ ，由实验测定 Q 、 A 、 Δt_m 即可求得 K 值。

由传热系数 K 亦可确定换热面内外两侧的对流传热膜系数。

对薄壁圆管 (d_o/d_i 小于 2), 传热系数 K 与传热膜系数之间有如下关系:

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha_o} + \frac{1}{\alpha_i} + \frac{\delta}{\lambda} + R_{do} + R_{di}$$

式中 K ——传热系数	(w/m^2k)
α_o ——加热管外壁面的对流传热膜系数	(w/m^2k)
α_i ——加热管内壁面的对流传热膜系数	(w/m^2k)
δ ——加热管壁厚	(m)
λ ——加热管的导热系数	(w/mk)
R_{do} ——加热管外壁面的污垢热阻	(m^2k/w)
R_{di} ——加热管内壁面的污垢热阻	(m^2k/w)

实验条件下考虑忽略污垢热阻, 则

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_o} + \frac{1}{\alpha_i}}$$

若有 $\alpha_i \gg \alpha_o$, 则有 $K \approx \alpha_o$;

实验中冷流体采用空气, 热流体采用水蒸气。通过测取冷热流体在换热器进出口的流量及温度变化来进行总传热系数 K 、对流传热膜系数 α 与相关准数关系的测定。

3. 需用的仪器、试剂或材料等

间壁式对流传热实验装置。

4. 实验步骤

- (1) 实验前应熟悉实验流程, 做好实验的准备工作。
- (2) 检查电源连接是否正确, 风机、加热装置工作是否正常, 设备密封是否良好。
- (3) 检查蒸气发生器内水位是否符合要求, 必要时加水。以免加热管烧坏。
- (4) 检查热电偶接触是否良好, 看热电偶插入处有无脱落。
- (5) 实验正常操作应打开冷却水, 排除换热器内的不凝性气体。稍开放空阀排不凝性气体。
- (6) 打开电源开关后, 打开蒸汽发生器加热开关。将可控温度仪表设定至所需值, 然后把电流表边上的调节 1、调节 2、打至满格, 大约 30 分钟左右时有蒸汽产生, 此时可把两个调节旋钮调小一点。
- (7) 读取实验数据时应待操作稳定后才开始进行, 一组实验数据应连续进行测定, 两组数据之间应有一定的稳定时间, 每组实验数据的测温点应始终保持不变, 以减少系统误差。各组实验数据间操作状态的改变, 通过调节风机出口阀的开度, 开大阀门则增加冷流体进料量, 调小反之。
- (8) 实验完毕, 应先关掉蒸发器的开关, 将调节 1、调节 2 调至最小, 停止加热; 风机和循环冷却水继续工作一段时间, 待蒸发器温度降至 50 度以下再关掉所有电源开关和循环

冷却水，结束实验。

5. 教学方式

以学生操作为主，指导老师讲授，示范操作为辅，教师在实验过程中及时答疑。

实验记录表如下：

姓名_____ 实验日期_____

1、传热实验记录

序号	气体流量 V (m ³ /h)	气体入口 T (°C)	气体出口 T (°C)	蒸汽入口 T (°C)	蒸汽出口 T (°C)	q	Δtm (°C)
1							
2							

2、数据处理及计算 (换热器换热面积为：A=0.08 m²)

实验八 填料塔吸收实验

1. 实验目的

观察填料塔内气液两相流动的情况及液泛现象；测定在不同的喷淋密度下，ΔP-u 的关系曲线；掌握总传质系数的测定方法及影响因素分析；通过实验了解 ΔP-u 曲线和传质系数对工程设计的重要意义。

2. 实验原理

1) 填料塔流体力学特性实验：

气体通过干填料层时，流体流动引起的压降和湍流流动引起的压降规律相一致，在双对数坐标系中对压降 ΔP-u 气速作图得到一条斜率为 1.8~2 的直线段。而有喷淋量时，在低气速时压降也成正比与气速的 1.8~2 次幂，但大于同一气速下干填料的压降。随气速增加，出现转折点—载点，持液量开始增大，压降—气速线向上弯曲，斜率变陡。到第二转折点泛液点后在几乎不便的气速下，压降急剧上升，气体变成了分散相在液体里鼓泡。

测定填料塔的压降和液泛速度，是为了计算填料塔所需动力消耗和确定填料塔适宜制作范围，选择合适的气液负荷。

2) 传质实验：

总体积传质系数 K_{ya} 是单位填料体积、单位时间吸收的溶质量。它是反映填料吸收塔的主要系数，是设计填料高度的重要数据。

本实验是水吸收空气—氨混合气体中的氨。混合气体中氨的浓度很低。系数所得的溶液浓度也不高，气液两相的平衡关系可以认为服从亨利定律(即平衡在 X-Y 坐标系为直线)。故可用对数平均浓度差法计算填料层传质平均推动力，相应的传质速度方程式为：

$$G_A = K_Y V_a V_P \Delta Y$$

所以
$$K_Y a = G_A / V_P \Delta Y$$

其中：
$$\Delta Y_M = [(Y_1 - Y_{e1}) - (Y_2 - Y_{e2})] / \ln [(Y_1 - Y_{e1}) / (Y_2 - Y_{e2})]$$

式中 G_A —单位时间内氨的吸收量 (kmol/h)

K_{ya} —总体积传质系数 [$\text{kmol}/\text{m}^3\text{h}$]

V_P —填料层体积 [m^3]

ΔY_m —气相对数平均浓度差

Y_1 —气体进塔时的摩尔比

Y_{e1} —与出塔液体相平衡的气相摩尔比

Y_2 —气体出塔时的摩尔比

Y_{e2} —与进塔液体相平衡的气相摩尔比

3. 需用的仪器、试剂或材料

填料吸收塔；氨气供给系统；硫酸、甲基红指示剂等。

4. 实验步骤

1) 流体力学性能测定

(1) 测定干填料压降时，塔内填料务必事先吹干，微开空气调节阀，开启气泵，缓慢调节改变空气流量次左右，测定塔压降，得到 $\Delta P-U$ 关系。

(2) 测定湿填料压降

a、测定前要进行预液泛时，使填料表面充分润湿。

b、实验接近液泛时，进塔气体的增长速度要放慢，不然图中泛点不易找到。密切观察填料表面气液接触状况，并注意填料层压降变化幅度，待各参数稳定后再读数据。液泛后填料层压降在风速几乎不变时明显上升，并注意不要使风速过分超过泛点。避免冲破和冲跑填料。

2) 传质实验：

(1) 关减压阀后缓慢开氨气阀，再缓慢开减压阀。保持氨气稳压罐压力在 0.05 MPa 左右，不得超过，以免冲出指示液。

(2) 传质实验操作条件选取

水喷淋密度 $10 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$ 空塔风速 0.5~0.8 m/s. 氨气入塔浓度约量 3~5%为宜。

(3) 尾气组成 Y_2 分析

预先往分析盒中加入 1 mL，当量浓度已知的稀硫酸作为吸收液，加入 2~3 滴甲基红作指示剂，用蒸馏水补充至刻度线，避免误差。分析开始，打开考克，被测塔顶尾气通过分析盒后其中氨被吸收，而空气由湿式气体流量计计量。考克开度始终，当吸收液到达终点时 (pH 4.2~6.2，由红色变为黄色) 立即关闭考克，记下湿式流量计转过的体积及空气温度。过大则吸收不完全，过小则时间太长。

(4) 实验完毕，关闭氨气时无比先关氨钢瓶总阀 1，然后才能关闭减压阀及调节阀。

(5) 停氨后，继续通入空气和水，将塔内残留的氨洗净。避免填料表面结垢。

5. 教学方式

以学生操作为主，指导老师讲授，示范操作为辅，教师在实验过程中及时答疑。

实验记录表如下：

姓名_____

实验日期_____

1、测干填料压降记录

空气流量 m ³ /h	空气压力 mmHg	塔压降 mmHg	尾气压力 mmHg

2、测湿填料压降记录

喷淋水流量 _____

空气流量 m ³ /h	空气压力 mmHg	塔压降 mmHg	尾气压力 mmHg

3、传质实验记录

空气流量_____、 喷淋水流量 _____、 氨气流量 _____

塔压降_____、 尾气压力_____、 空气压力_____

硫酸浓度_____、 硫酸体积_____、 湿式流量计空气_____

1. 计算干填料以及一定喷淋量下湿填料在不同的空塔气速下单位填料层高度的压降, 即 $\Delta P/z$ [Pa/m]. 并在双对数坐标系作图. 找出载点和泛点。

2. 计算实验条件下(一定喷淋量, 一定空塔气速的总体积传质系数 K_{ya} 值及气相总传质单元高度 HOG 值)。

实验九 振动筛板萃取实验

1. 实验目的

了解振动筛板塔的结构特点和原理; 观察萃取塔内两相流动现象和液泛; 掌握液液萃取时传质单元高度和效率的实验测定方法。

2. 实验原理

萃取是分离液体混合物的一种常用操作。它的工作原理是在待分离的混合物中加入与之不互溶(或部分互溶)的萃取剂, 形成共存的两个液相。利用原溶剂与萃取剂对各组分的溶解度的差别, 使原溶液得到分离。

1) 液液传质特点

液液萃取与精馏, 吸收均属于相际传质操作, 它们之间有不少相似之处, 但由于在液液系统中, 两相的密度差和界面张力均较小, 因而传质过程中两相充分混合。为了促进两相的传质, 在液液萃取过程常常要借用外力将一相强制分散与另一相中(如利用外加脉冲的脉冲塔, 利用塔盘旋转的转盘塔等等)。然而两相一旦混合, 要使它们充分分离也很难, 因此萃取塔通常在顶部与底部有扩大的相分离段。

在萃取过程中, 两相的混合与分离好坏, 直接影响到萃取设备的效率。一向混合, 分离的因素很多, 除与液体的物性有关外, 还有设备结构, 外加能量, 两相液体的流量等等有关。

很难用数学方程求得，因而表示传质好坏的级效率或传质系数的值多用实验直接研究萃取塔性能和萃取效率时，观察操作现象十分重要，实验时应注意了解以下几点：

- (1) 液滴分散与聚结现象；
- (2) 塔顶，塔底分离段的分离效果；
- (3) 萃取塔的液泛现象；
- (4) 外加能量大小（改变振幅，频率）对操作的影响。

2) 液液萃取段高度计算

萃取过程与气液传质过程的机理类似，如求萃取段高度目前均用理论级数，级效率或者传质单元数，传质单元高度法。对于本实验所用的振动筛板塔这种微分接触装置，一般采用传质单元数，传质单元高度法计算。当溶液为稀溶液，且溶剂与稀释剂完全不互溶时，萃取过程与填料吸收过程类似，可以仿照吸收操作处理。萃取塔的有效高度可用下式表示：

$$H=H_{OE}N_{OR}=H_{OR}N_{OR}$$

式中：

H——萃取段高度，mm

H_{OE} , H_{OR} ——分别为以萃取相与萃余相计算总传质单元高度，mm；

$$H_{OE}=\frac{V_e}{K_y a \Omega}, \quad H_{OR}=\frac{V_r}{K_x a \Omega};$$

N_{OE} , N_{OR} 分别为以连续相和分散相计算的总传质单元数 $N_{OR}=\int_{x_2}^{x_1} \frac{dX}{x-X}$ ；

式中：

$K_y a$ ——萃取相总体积传质系数，Kg/(M³.S)

$K_x a$ ——萃取相体积传质系数，Kg/(M³.S)

V_E, V_R ——分别为连续相中和分散相中稀释剂（B）的质量流量，Kg/S；

Ω ——塔的截面积，m²

$X_1 \cdot X_2$ ——分别表示分散相出、进塔是溶质的质量比浓度，Kg/Kg。

当溶液浓度稀时， $X \approx x$ ， N_{OE} ， N_{OR} 可用对数平均推动力法求出。

$$N_{OR}=\frac{X_1-X_2}{\Delta X_m}=\frac{x_1-x_2}{\Delta X_m}$$

两液相的平衡关系可用体系的分配曲线求得。

$$Y^*=2.3x$$

物料平衡算的 $y_1=\frac{F}{S}(x_1-x_2)+x_1-x_2$ (控 F=S, 质量比 1: 1)

$$y_2=0$$

$$\text{萃取率 } \eta = \frac{x_1 - x_2}{x_1}$$

$$\text{浓度用滴定分析 } X = \frac{(N * V)_{NaOH} * M}{V_{\text{样}} \rho_{\text{油6}}}$$

式中：N——NaOH 当量浓度，配 0.01N 左右

V——耗 NaOH 量。 mL

V_样——取样 25 mL

$\rho_{\text{油}}$ ——比重计 (d) 测算。

M——溶质分子量

3. 需用的仪器、试剂或材料

往复式振动筛板塔；铁架台、碱式滴定管、锥形瓶、移液管、烧杯；煤油、苯甲酸、氢氧化钠、酚酞指示剂等。

4. 实验步骤

1) 观察萃取塔内两相流动现象

(1) 将原料和溶剂分别加入原料槽和溶剂槽，使液面各占槽容量的 2/3。

(2) 打开轻相（油槽）底阀，先排气待管中满液时再开转子流量计使塔内油升至塔高 1/5。

(3) 将重相（水相）经转子流量计加入，至塔顶油溢出，开启油泵，控制两相流量，调节界面调节阀使相截面稳定；

(4) 调节两相流量，观察不同流比下的两相流动情况。

2) 观察液泛现象

(1) 固定连续相流量，加大分散相流量，观察萃取时的液泛现象。

(2) 固定分散相流量，加大连续相流量，观察萃取时的液泛现象。改变振频率或振幅，重复观察液体流动和液泛现象。

3) 测定塔的传质单元高度

(1) 以水为连续相，煤油为分散相进行逆流萃取。

(2) 测定一定振幅，两种频率下的传质单元高度，取塔顶油相 50~60 mL，用移液管移取 25 mL，滴定分析。

5. 教学方式

以学生操作为主，指导老师讲授，示范操作为辅，教师在实验过程中及时答疑。

实验记录表如下：

姓名_____

实验日期_____

振动频率 次	水流量 m ³ /h	煤油流量 m ³ /h	NaOH 耗量 mL	萃余相浓度 kg/kg

实验十 电子天平称量练习

1. 实验目的

- 1) 掌握电子天平减重法称量样品的方法。
- 2) 熟悉电子天平直接称量样品的方法[示教]。
- 3) 了解电光分析天平的结构和使用规则[录像]。

2. 实验原理

实验原理：电磁力补偿原理；支承点用弹性簧片取代机械天平的玛瑙刀口。压力变压器取代升降装置，数字显示代替指针刻度。具有性能稳定、操作方便等特点。

3. 实验内容：

1) 电子天平的使用精确度 0.1 mg (最大载荷 200 g)

- a. 使用前观察天平仪是否水平，如不水平，用水平脚调整水平；
- b. 接通电源，预热 20~30 min 以获得稳定的工作温度；
- c. 让秤盘空载并轻按“On”键，天平显示自检（所有字段闪现等），当天平回零时，就可以称量了；
- d. 简单称量：打开天平侧门，将样品放在秤盘上，关闭侧门，等到稳定指示符“→”出现，读取称量结果；
- e. 去皮称量：将空容器放在秤盘上，显示其重量值。轻按“→0/T←”键去皮。向空容器中加料，并显示净重值（如将容器从天平上移去，去皮重量值会以负值显示，此值将一直保留到再次按“→0/T←”键或关机。）；
- f. 称量完，取下被称物，按一下 OFF 键，拔下电源插头，盖上防尘罩。

2) 电子天平的使用规则与维护

- a. 天平室应避免阳光照射，保持干燥，防止腐蚀性气体的侵袭。天平应放在牢固的台上避免震动；
- b. 天平箱内应保持清洁，要定期放置和更换吸湿变色干燥剂（硅胶），以保持干燥；
- c. 称量物体不得超过天平的载荷；
- d. 不得在天平上称量热的或散发腐蚀性气体的物质；
- e. 使用电光分析天平时，开关天平要轻缓，以免震动损坏天平的刀口。在天平开启（全开）状态严禁加减砝码和物体；
- f. 使用电光分析天平加减砝码时，必须用镊子夹取，取下的砝码应放在砝码盒内的固定位置上，不能乱放，也不能够用其它天平的砝码；
- g. 称量的样品，必须放在适当的容器中，不得直接放在天平盘上；
- h. 称量完毕应将各部件恢复原位，关好天平门，罩上天平罩，切断电源。并检查盒内砝码是否完整无缺和清洁，最后在天平使用登记本上写清使用情况。

4. 需用的仪器、试剂或材料

电子天平，台式小天平，表面皿，药匙，毛刷，碳酸钠，石英砂

5. 实验步骤

1) 固定质量称量法:

a、检查电子天平是否洁净，是否处于休止状态，看水平仪，检查电子天平是否处于水平，清洁和调整；

b、开天平“Power”，并清零，显示 0.0000 g；

c、在称量盘上放置一清洁干燥的表面皿，按“→0/T←”键去皮，此时天平显示 0.0000 g。轻敲手腕，用药匙将试样慢慢加表面皿中央，关上天平门，待读数稳定，再酌量增加试样，直到天平显示为 0.5000 g。

f. 称量完，取出表面皿，关上天平门。将石英砂转入小烧杯中，按一下 OFF 键，拔下电源插头，盖上防尘罩。

2) 递减称量法:

a、检查电子天平是否洁净，是否处于休止状态，看水平仪，检查电子天平是否处于水平，清洁和调整；

b、开天平“Power”，并清零，显示 0.0000 g；

c、用台式小天平称出两个清洁干燥的小烧杯，然后在电子天平上称准至 0.1 mg，记录 $W_{空1}$ 和 $W_{空2}$ 。

d、另用纸带从干燥器内取出一洁净的称量瓶，称出粗重后，加入约 1 g 左右的 $NaCO_3$ 。放入电子天平中，关门，数字稳定后，读数，记为 W_1 ；

e、取出称量瓶，敲出 $NaCO_3$ 约 0.3~0.4 (约 1/3) 于第一个小烧杯中后，精确称量剩余质量，记录 W_2 ；从中再移取约 0.3~0.4 (约 1/3) 于第二个小烧杯中，精确称量剩余质量，记录为 W_3 。

f、再分别称量已装有样品的小烧杯质量，记录 $W_{样1}$ 和 $W_{样2}$ 。

注意事项:

1)、不能随意移动电子天平。

2)、用纸带或者戴手套取用称量瓶。

3)、用药匙加样到称量瓶中时，注意不要撒样在电子天平盘上。

4)、敲样品时称量瓶要靠近锥形瓶口，瓶盖轻敲称量瓶瓶口上缘，边敲边倾斜瓶身，注意不要洒到瓶外；敲完后，要边敲边慢慢直立瓶身。

5)、关好天平门，数字稳定后才读数。

6)、实验完毕，整理天平，回收样品，登记使用记录本，叫教师签名，洗净称量瓶（皂粉自来水洗净蒸馏水润洗三次）并上交。

6. 教学方式

以学生操作为主，指导老师讲授，示范操作为辅，教师在实验过程中及时答疑。

实验报告一律用学校规定的实验报告本书写，报告内容应包括以下项目：

(1) 实验题目；(2) 报告及同组人姓名；(3) 实验日期；(4) 实验目的；(5) 实验原理；

(6) 实验仪器及试剂; (7) 实验步骤 (8) 实验原始数据表格与记录; (9) 实验数据的整理 (包括计算数据及结果数据) 列表; (10) 实验结果 (可以图示法、列表法及经验式表示); (11) 结论与思考题、误差分析。

实验十一 滴定分析基本操作

1. 实验目的

练习滴定操作, 初步掌握滴定管的使用方法及准确的确定终点的方法。

练习酸碱标准溶液的配制和浓度的比较。

熟悉甲基橙和酚酞指示剂的使用和终点颜色变化。初步掌握酸碱指示剂的选择方法。

2. 实验原理

滴定分析是将一种已知浓度的标准溶液滴加到被测试样中, 直到化学反应完全为止, 然后根据标准溶液的浓度和体积求得被测试样中组分含量的一种方法。

强酸 HCl 强碱 NaOH 溶液的滴定反应, 突跃范围的 pH 约为 4~10, 在这一范围中可采用甲基橙 (变色范围 pH 3.1~4.4)、甲基红 (变色范围 pH 4.4~6.2)、酚酞 (变色范围 pH 8.0~9.6) 等指示剂来指示终点。

3. 需用的仪器、试剂或材料

试剂: NaOH 固体 (AR 级)、原装盐酸 (密度 $1.19 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ AR 级)、酚酞 (1% 乙醇溶液)、甲基橙 (0.1% 水溶液)

仪器: 台秤、烧杯、试剂瓶、量筒、酸式滴定管、碱式滴定管、锥形瓶、洗瓶。

4. 实验步骤

无水碳酸钠的称量

用差减法准确称取约 1g 三份 (记录 W_1, W_2, W_3 准确质量, 精确到 0.0001 g), 分别放入 250 mL 锥形瓶中, 待用。

HCl 标准储备溶液的配制与标定:

- a. 计算配制 100 mL 1 mol/L 的 HCl 溶液所需浓 HCl 的体积量 $V_{\text{HCl 浓}}$ (mL), 然后用洁

净的吸量管吸取 $V_{\text{HCl 浓}}$ (mL) 放入 100 mL 干净的容量瓶中, 用蒸馏水稀释至刻度, 摇匀, 贴上标签, 待标定。

b. 标定: 向上述 3 份盛 Na_2CO_3 的 250 mL 锥形瓶中, 分别加入 20 mL 蒸馏水溶解, 加入 1-2 滴甲基橙指示剂, 用 HCl 操作溶液滴定至溶液由橙黄色变为淡橙红色为终点, 记录消耗 HCl 体积 V_{HCl} 。根据 Na_2CO_3 基准物质的质量, 计算 HCl 溶液的浓度 (mol/L)。

$$C_{\text{HCl}} = W / 53 V_{\text{HCl}} \times 1000$$

式中 C_{HCl} ——HCl 标准储备溶液的浓度, mol/L;

V_{HCl} ——滴定时消耗 HCl 操作溶液的体积, mL

W——基准物质 Na_2CO_3 的质量, g, 共 3 份, W_1, W_2, W_3

53——基准物质 Na_2CO_3 的摩尔质量 ($1/2 \text{ Na}_2\text{CO}_3$), g/mol。

* 注意：浓盐酸易挥发，应在通风橱中操作。

NaOH 标准溶液溶液的配制和标定

a. 配制约 0.1 mol/L NaOH 溶液：在台秤上称取配制 250 mL 0.1 mol/L NaOH 溶液所需固体 NaOH 的量 (g)，放入干净的小烧杯中，加少许蒸馏水，用玻璃棒搅拌，溶解后稀释至 250 mL，摇匀，倒入试剂瓶中，贴上标签。

b. 标定：将上面 NaOH 溶液加入滴定管中，调节零点，用移液管吸取 25.00 mL 0.1000 mol/L HCl 溶液共 3 份，分别放入锥形瓶中，加 1~2 滴酚酞指示剂，自滴定管用 NaOH 溶液滴定至溶液由无色变为淡粉色指示滴定终点。记录 NaOH 溶液用量 (mL)。计算 NaOH 溶液的浓度。(mol/L)

5. 教学方式

以学生操作为主，指导老师讲授，示范操作为辅，教师在实验过程中及时答疑。

实验报告一律用学校规定的实验报告本书写，报告内容应包括以下项目：

- (1) 实验题目；(2) 报告及同组人姓名；(3) 实验日期；(4) 实验目的；(5) 实验原理；(6) 实验仪器及试剂；(7) 实验步骤(8) 实验原始数据表格与记录；(9) 实验数据的整理(包括计算数据及结果数据)列表；(10) 实验结果(可以图示法、列表法及经验式表示)；(11) 结论与思考题、误差分析。

实验十二 水中碱度的测定

1. 实验目的

通过实验掌握水中碱度的测定的方法，进一步掌握指示剂的选择和滴定终点的判断。

2. 实验原理

采用连续滴定法测定水中碱度。采用连续滴定法测定水中碱度。首先以酚酞为指示剂，用 HCl 标准溶液滴定至终点时溶液由红色变为无色，用量为 P (mL)；接着以甲基橙为指示剂，继续用同浓度 HCl 溶液滴定至溶液由桔黄色变为桔红色，用量为 M (mL)。如果 $P > M$ ，则有 OH 和碱度； $P < M$ ，则有和碱度； $P = M$ 时，则只有碱度；如 $P > 0$ 时， $M = 0$ ，则只有碱度； $P = 0$ ， $M > 0$ ，则只有碱度。根据 HCl 标准溶液的浓度和用量 (P 与 M)，求出水中的碱度。

3. 需用的仪器、试剂或材料

仪器：酸式滴定管、锥形瓶、移液管

试剂：HCl (0.1000 mol/L)、酚酞 (0.1%乙醇溶液)、甲基橙指示剂 (0.1%水溶液)。

4. 实验步骤

1) 用移液管吸取两份水样和无 CO₂ 蒸馏水各 100 mL，分别放入 250 mL 锥形瓶中，加入 4 滴酚酞指示剂，摇匀。若溶液呈现红色，用 0.1000 mol/L HCl 溶液滴定至刚好无色(可与 CO₂ 蒸馏水的锥形瓶比较)。记录用量 (P)。若加酚酞指示剂后溶液无色，则不需用 HCl 溶液滴定。接着按下步操作。

2) 再于每瓶中加入甲基橙指示剂 3 滴，混匀。若水样变为桔黄色，继续用 0.1000 mol/L HCl 溶液定至刚刚变为桔红色为止(与无 CO₂ 的蒸馏水中颜色比较)，记录用量 (M)。如果加

甲基橙指示剂后溶液为桔红色；则不需用 HCl 溶液滴定。

5. 教学方式

以学生操作为主，指导老师讲授，示范操作为辅，教师在实验过程中及时答疑。

实验报告一律用学校规定的实验报告本书写，报告内容应包括以下项目：

- (1) 实验题目；(2) 报告及同组人姓名；(3) 实验日期；(4) 实验目的；(5) 实验原理；
- (6) 实验仪器及试剂；(7) 实验步骤(8) 实验原始数据表格与记录；(9) 实验数据的整理(包括计算数据及结果数据)列表；(10) 实验结果(可以图示法、列表法及经验式表示)；
- (11) 结论与思考题、误差分析。

思考题：1. 根据实验数据如何判断水样中碱度的种类？怎样计算每种碱度的含量

2. 水中碱度的测定还可以采用分别滴定法，比较两种方法的操作和计算有何不同？

实验十三 水质指标测定

(一) 水中总硬度的测定

1. 实验的目的

- 学习 EDTA 标准溶液的配制与标定；
- 掌握配位滴定法中的直接滴定方式；
- 掌握水中总硬度的测定原理和测定方法。

2. 实验原理

水中总硬度是指水中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的总浓度，包括碳酸盐硬度（即暂时硬度）和非碳酸盐硬度（即永久硬度）。硬度对工业用水关系很大，尤其是锅炉用水，各种工业用水的硬度均有一定的要求。

在 $\text{PH}=10$ 的 $\text{NH}_3\text{-NH}_4\text{Cl}$ 缓冲溶液中，以铬黑 T 为指示剂，用三乙醇胺掩蔽 Fe^{3+} 、 Al^{3+} 、 Cu^{2+} 、 Pb^{2+} 、 Zn^{2+} 等共存离子。用 EDTA 标准溶液进行滴定，则 EDTA 与水中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 形成紫红色配合物，滴定至终点时，置换出的铬黑 T 使溶液呈现亮蓝色，即为终点。根据 EDTA 标准溶液的浓度和用量即可求出水中总硬度。

如果在 $\text{PH}>12$ 时， Mg^{2+} 以 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 沉淀形式被掩蔽，加钙指示剂，用 EDTA 标准溶液滴定至溶液由红色变为蓝色，即为终点。根据 EDTA 标准溶液的浓度和用量可分别求出 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的含量。

如果 Mg^{2+} 的浓度小于 Ca^{2+} 浓度的 $1/20$ ，则需加入 $5\text{ mL Mg}^{2+}\text{-EDTA}$ 溶液，改善终点变色的敏锐度。

3. 需用的仪器、试剂或材料

- 仪器：酸式滴定管（50 mL）、锥形瓶（250 mL）、洗瓶（500 mL）、刻度吸量管（10 mL、5 mL）、电炉、PH 广泛试纸、玻璃棒、洗耳球
- 试剂：EDTA（0.01 mol/L, AR）、 $\text{NH}_3\text{-NH}_4\text{Cl}$ 缓冲溶液（ $\text{PH}\approx 10$ ）、钙标准溶液（0.01 mol/L）、三乙醇胺（20%水溶液）、 Na_2S （2%水溶液）、HCl（4 mol/L）、NaOH（2 mol/L）、铬黑 T 指示剂（粉末状）、钙指示剂（粉末状）

4. 实验步骤

- EDTA 的标定:

分别吸取 3 份 25.00 mL 0.01 mol/L 的钙标准溶液于锥形瓶中, 加入 20 mL pH≈10 的 NH₃-NH₄Cl 缓冲溶液, 再加一小勺铬黑 T 指示剂, 立即用 EDTA 溶液滴定至溶液由酒红色变为蓝紫色即为终点, 记录用量。用平均值计算 EDTA 的准确浓度。

- 自来水总硬度测定:

吸取 50.00 mL 自来水样 3 份, 分别放入 250 mL 锥形瓶中, 加 1~2 滴 HCl 溶液酸化, 煮沸数分钟以除去 CO₂, 冷却至室温, 并再用 NaOH 或 HCl 调至中性→加入 3 mL 三乙醇胺掩蔽 Fe³⁺, Al³⁺→加入 5 mL NH₃-NH₄Cl 缓冲溶液→加入 1 mL Na₂S 溶液掩蔽 Cu²⁺、Zn²⁺等→加入一小勺铬黑 T 指示剂→立即用 EDTA 标准溶液滴定, 由紫红色变为蓝色即为终点。记录用量。

$$\text{水的总硬度 (mol/L)} = \frac{C_{\text{EDTA}} V_{\text{EDTA}(1)}}{\text{水样的体积}}$$

$$\text{水的总硬度 (CaCO}_3 \text{ 计, mg/L)} = \frac{100.1 \times C_{\text{EDTA}} V_{\text{EDTA}(1)}}{\text{水样的体积}}$$

式中: 100.1——钙的摩尔质量, g/mol。

- 钙硬度的测定

吸取 50.00 mL 自来水样 3 份, 分别放入 250 mL 锥形瓶中, 加 1~2 滴 HCl 溶液酸化, 煮沸数分钟以除去 CO₂, 冷却至室温, 并再用 NaOH 或 HCl 调至中性→加入 3 mL 三乙醇胺掩蔽 Fe³⁺, Al³⁺→加入 1 mL 2 mol/L 的 NaOH 溶液→加一小勺钙指示剂→立即用 EDTA 标准溶液滴定, 由紫红色变为蓝色即为终点。记录用量。

$$\text{钙硬度 (Ca}^{2+}, \text{mg/L)} = \frac{40.08 C_{\text{EDTA}} V_{\text{EDTA}(2)}}{\text{水样的体积}}$$

式中: 40.08——钙的摩尔质量 (Ca), g/mol

5. 教学方式

以学生操作为主, 指导老师讲授, 示范操作为辅, 教师在实验过程中及时答疑。

实验报告一律用学校规定的实验报告本书写, 报告内容应包括以下项目:

- (1) 实验题目;
- (2) 报告及同组人姓名;
- (3) 实验日期;
- (4) 实验目的;
- (5) 实验原理;
- (6) 实验仪器及试剂;
- (7) 实验步骤
- (8) 实验原始数据表格与记录;
- (9) 实验数据的整理 (包括计算数据及结果数据) 列表;
- (10) 实验结果 (可以图示法、列表法及经验式表示);
- (11) 结论与思考题、误差分析。

原始记录表格 (略)

思考题: 1. 根据实验数据, 计算水中镁硬度是多少 (mg/L) 表示?

2. 测定水的硬度时, 什么情况需加入 Mg-EDTA 盐? 阐述 Mg-EDTA 盐提高终点变色敏锐性原理。

3. 为什么滴定要在缓冲溶液中进行? 若滴定溶液中不加缓冲溶液会发生什么现象?

(二) 莫尔法测定水中的 Cl⁻

1. 实验目的

- 学习 AgNO₃ 标准溶液的配制与标定。
- 掌握用莫尔法进行沉淀滴定的原理、方法和实验操作。

2. 实验原理

莫尔法是在中性或弱碱性溶液中，以 K₂CrO₄ 为指示剂，以 AgNO₃ 标准溶液进行滴定。由于 AgCl 沉淀的溶解度比 Ag₂CrO₄ 小，因此，溶液中首先析出 AgCl 沉淀。当 AgCl 定量沉淀后，过量 1 滴的 AgNO₃ 溶液即与 CrO₄²⁻ 生成砖红色的 Ag₂CrO₄ 沉淀，指示达到终点。主要反应如下：



滴定必须在中性或碱性溶液中进行，最适宜 pH 范围为 6.5~10.5。如果有铵盐存在，溶液的 pH 需控制在 6.5~7.2 之间。

指示剂的用量对滴定有影响，一般以 5×10^{-3} mol/L 为宜。凡是能与 Ag⁺ 生成难溶性化合物或配合物的阴离子都干扰测定。如 PO₄³⁻、AsO₄³⁻、SO₃²⁻、S²⁻、CO₃²⁻、C₂O₄²⁻ 等。其中 H₂S 可加热煮沸除去，将 SO₃²⁻ 氧化成 SO₄²⁻ 后不再干扰测定。大量 Cu²⁺、Ni²⁺、Co²⁺ 等有色离子将影响终点观察。凡是能与 CrO₄²⁻ 指示剂生成难溶化合物的阳离子也干扰测定，如 Ba²⁺、Pb²⁺ 能与 CrO₄²⁻ 分别生成 BaCrO₄ 和 PbCrO₄ 沉淀。Ba²⁺ 的干扰可加入过量的 Na₂SO₄ 消除。

Al³⁺、Fe³⁺、Bi³⁺、Sn⁴⁺ 等高价金属离子在中性或弱碱性溶液中易水解产生沉淀，会干扰测定。

3. 需用的仪器、试剂或材料

- 仪器：酸式滴定管（25 mL）、锥形瓶（250 mL）、移液管（50 mL）、洗耳球、洗瓶。
- 试剂：NaCl 基准试剂、AgNO₃ 溶液（0.1 mol/L）、K₂CrO₄（5%水溶液）

4. 实验步骤

- AgNO₃ 溶液的标定

准确称取 0.5~0.65 g NaCl 基准物于小烧杯中，用蒸馏水溶解后转入 100 mL 容量瓶中，稀释至刻度，摇匀。用移液管移取 25.00 mL NaCl 溶液注入 250 mL 锥形瓶中，加入 25 mL 蒸馏水，用吸量管加入 1 mL K₂CrO₄ 溶液，在不断摇动下，用 AgNO₃ 溶液滴定至现砖红色，即为终点。平行标定 3 份。根据消耗 AgNO₃ 的体积(V₁)和 NaCl 的质量，计算 AgNO₃ 的浓度(mol/L)：

$$C_{\text{AgNO}_3} = \frac{C_{\text{NaCl}} V_{\text{NaCl}}}{V_1}$$

- 水样测定

吸取 50.00 mL 水样 3 份分别放入锥形瓶中，用 1 mL 吸量管加入 1 mL K₂CrO₄ 溶液，在不断摇动下，用 AgNO₃ 标准溶液滴定至溶液出现砖红色即为终点。同法做空白测定。水样中氯的含量按下式计算：

$$\text{氯化物 (Cl}^-, \text{ mg/L)} = \frac{(V_2 - V_1) \times C_{\text{AgNO}_3} \times 35.45 \times 1000}{\text{水样体积}}$$

式中 V_1 ——蒸馏水中消耗硫酸银标准溶液量, mL;

V_2 ——水样消耗硫酸银标准溶液量, mL;

C_{AgNO_3} ——硝酸银标准溶液的浓度;

35.45——氯离子 (Cl^-) 的摩尔质量, g/mol。

实验完毕后, 将装 AgNO_3 溶液的滴定管先用蒸馏水冲洗 2~3 次后, 再用自来水洗净, 以免 AgNO_3 残留于管内。

5. 教学方式

以学生操作为主, 指导老师讲授, 示范操作为辅, 教师在实验过程中及时答疑。

实验报告一律用学校规定的实验报告本书写, 报告内容应包括以下项目:

- (1) 实验题目;
- (2) 报告及同组人姓名;
- (3) 实验日期;
- (4) 实验目的;
- (5) 实验原理;
- (6) 实验仪器及试剂;
- (7) 实验步骤
- (8) 实验原始数据表格与记录;
- (9) 实验数据的整理 (包括计算数据及结果数据) 列表;
- (10) 实验结果 (可以图示法、列表法及经验式表示);
- (11) 结论与思考题、误差分析。

原始记录表格 (略)

思考题: 1. 莫尔法滴定时为什么溶液的 pH 须控制在 6.5~10.57 之间?

2. 以 K_2CrO_4 作指示剂时, 指示剂浓度过大或过小对测定有何影响?

(三) 水中 pH 值测定

1. 实验目的

掌握 pH 计测定溶液 pH 的方法和原理。

2. 实验原理

电位法测定溶液的 pH, 是以玻璃电极为指示电极, 饱和甘汞电极为参比电极, 组成原电池。实验中选用 pH 与水样 pH 接近的标准缓冲溶液, 校正 pH 计, 并保持溶液温度恒定, 以减少由于液接电位、不对称电位及温度等变化而引起的误差, 测定水样之前, 用两种不同 pH 的缓冲溶液校正, 如用一种 pH 的缓冲溶液定位后, 再测定相差约 3 个 pH 单位的另一种缓冲溶液的 pH 时, 误差应在 $\pm 0.1\text{pH}$ 之内。

校正后的 pH 计, 可以直接测定水样或溶液的 pH。

3. 需用的仪器、试剂或材料

- 仪器: PHS—3C 酸度计
- 试剂: 邻苯二甲酸氢钾标准缓冲溶液 (0.05 mol/L, pH=4.00)、混合磷酸盐溶液 (0.025 mol/L, pH=6.86)、 NaH_2PO_4 溶液 (0.1 mol/L, pH=9.18)

4. 实验步骤

- 将电极与塑料杯用水冲洗干净, 用标准缓冲溶液淋洗 1~2 次, 用滤纸吸干。
- 将 PH/mv 档调到 pH 档, 用温度计测量溶液温度, 将酸度计上“温度”调至溶液的温度。
- 将电极放入 0.025 mol/L 的混合磷酸盐标准溶液中, 待读数稳定后, 调节“定位”键, 使其显示为 6.86; 再将电极取出, 用蒸馏水冲洗干净, 滤纸吸干后, 放入 0.05 mol/L 的邻

苯二甲酸氢钾标准缓冲溶液（或 0.1 mol/L NaH_2PO_4 溶液）中，待读数稳定后，调节“斜率”键，使其显示为 4.00（或 9.18）。

• 反复调节“定位”和“斜率”的步骤，直到读数稳定为止。将电极冲洗干净，直接插入待测溶液中，待读数稳定后，记录读数即为该溶液的 pH 值。

* 注意：复合电极使用时，如果不是封闭式复合电极，测量时要把密封口处得胶圈拉开，以保持内外压一致。复合电极头的玻璃泡极其敏感易碎，使用时不能用硬物接触，以免损坏。使用前应将电极的球泡部位浸泡在蒸馏水中 24h 以上。不用时，也应浸泡在蒸馏水中。如果电极污染，可以按照说明书上进行清洗。测定碱性水杨或溶液时，应当尽快测量，测量胶体、蛋白质和染料时，用后须用棉花或软纸蘸乙醚小心擦拭，酒精清洗，最后用蒸馏水洗净。如果电极内填充液干涸，要用饱和 KCl 溶液灌入，保持电极的湿润。通常复合电极寿命为一年左右。

5. 教学方式

以学生操作为主，指导老师讲授，示范操作为辅，教师在实验过程中及时答疑。

实验报告一律用学校规定的实验报告本书写，报告内容应包括以下项目：

- (1) 实验题目；(2) 报告及同组人姓名；(3) 实验日期；(4) 实验目的；(5) 实验原理；(6) 实验仪器及试剂；(7) 实验步骤(8) 实验原始数据表格与记录；(9) 实验数据的整理（包括计算数据及结果数据）列表；(10) 实验结果（可以图示法、列表法及经验式表示）；(11) 结论与思考题、误差分析。

原始记录表格（略）

思考题：1. pH 计上的“温度”钮与“定位”钮的作用各是什么？

2. 为什么常用邻苯二甲酸氢钾、四硼酸钠、二草酸三氢钾等的溶液作为 pH 标准缓冲溶液？

实验十五 湘江水质分析

1. 化学需氧量的测定

1. 实验目的

- 学习硫酸亚铁铵标准溶液的标定，掌握重铬酸钾容量法测定化学需氧量的原理和技术，学习微波消解有机物的方法。
- 复习有机污染综合指标的含义及测定方法。

2. 实验原理

在强酸性溶液中，准确加入过量的重铬酸钾标准溶液，加热回流，将水样中还原性物质（主要是有机物）氧化，过量的重铬酸钾以试亚铁灵作指示剂，用硫酸亚铁铵标准溶液回滴，根据所消耗的重铬酸钾标准溶液量计算水样化学需氧量。

3. 需用的仪器、试剂或材料

- 仪器：微波消解仪、聚四氟乙烯消解罐、酸式滴定管、锥形瓶、移液管、容量瓶、洗

瓶等。

• 试剂：重铬酸钾标准溶液 ($c(1/6K_2Cr_2O_7)=0.2500 \text{ mol/L}$)、重铬酸钾消解液、试亚铁灵指示液、硫酸亚铁铵标准溶液 [$c(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ 约等于 0.1 mol/L]、硫酸汞、硫酸-硫酸银溶液

4. 实验步骤

• 水样中 COD 测定：用吹式吸量管准确吸取 10.00 mL 水样于聚四氟乙烯消解罐中，同时吸取 10.00 mL 蒸馏水于第二个消解罐中（做空白试验）→分别加入 5 mL 重铬酸钾消解液→分别缓缓加入 10 mL 浓硫酸—硫酸银催化剂→拧紧罐盖→摇匀，放入微波消解仪中加热 15 min→消解完毕后，取出消解罐，冷却至室温，小心拧开罐盖，将罐中溶液倒入锥形瓶中，用洗瓶洗涤罐帽和罐体内壁，残液并入锥形瓶，控制体积不超过 60 mL→加入 2 滴试亚铁灵指示剂，用硫酸亚铁铵标准溶液滴定，颜色由黄色转蓝绿色最后变成红棕色即为终点。记录消耗硫酸亚铁铵体积。

$$COD(O_2, \text{mg/L}) = (V_0 - V_1) C \times 8 \times 1000 / V_{\text{水}}$$

式中：c——硫酸亚铁铵标准溶液的浓度，mol/L；

V_0 ——滴定空白时硫酸亚铁铵标准溶液用量，mL；

V_1 ——滴定水样时硫酸亚铁铵标准溶液的用量，mL；

V——水样的体积，mL；

8——氧 ($1/2O$) 摩尔质量，g/mol。

• 硫酸亚铁铵标准溶液的标定：准确吸取 5 mL 重铬酸钾标准溶液于锥形瓶中，加入约 40 mL 蒸馏水，缓缓加入 10 mL 体积浓硫酸→冷却后，加入 2 滴试亚铁灵指示剂，用硫酸亚铁铵标准溶液滴定，颜色由黄色转蓝绿色最后变成红棕色即为终点。记录消耗硫酸亚铁铵体积。

$$C(\text{mol/L}) = \frac{0.2500 \times 10.00}{V}$$

* 注意事项

1、使用 0.4 硫酸汞络合氯离子的最高量可达 40 mg，如取用 20.00 mL 水样，即最高可络合 2000 mg/L 氯离子浓度的水样。若氯离子的浓度较低，也可少加硫酸汞，使保持硫酸汞：氯离子=10：1 (W/W)。若出现少量氯化汞沉淀，并不影响测定。

2、水样取用体积在 10.00 范围内，如果 COD_{Cr} 值过大，可以减少水样体积，补以蒸馏水达到 10.00 mL。

3、对于化学需氧量小于 50 mg/L 的水样，应改用 0.0250 mol/L 重铬酸钾标准溶液。回滴时用 0.01 mol/L 硫酸亚铁铵标准溶液。

4、用邻苯二甲酸氢钾标准溶液检查试剂 的质量和操作技术时，由于每克邻苯二甲酸氢钾的理论 COD_{Cr} 值为 1.176 g 所以溶解 0.4251 g 邻苯二甲酸氢钾 ($HOOC_6H_4COOK$) 于重蒸馏水中，转入 1000 mL 容量瓶，用重蒸馏水稀释至标线，使之成为 500 mg/L 的 COD_{Cr} 标准溶液。用时新配。

5、COD_{Cr}的测定结果应保留三位有效数字。

6、每次实验时，应对硫酸亚铁铵滴定溶液进行标定，室温较高时尤其应注意其浓度的变化。

5. 教学方式

以学生操作为主，指导老师讲授，示范操作为辅，教师在实验过程中及时答疑。

实验报告一律用学校规定的实验报告本书写，报告内容应包括以下项目：

- (1) 实验题目；(2) 报告及同组人姓名；(3) 实验日期；(4) 实验目的；(5) 实验原理；
- (6) 实验仪器及试剂；(7) 实验步骤(8) 实验原始数据表格与记录；(9) 实验数据的整理(包括计算数据及结果数据)列表；(10) 实验结果(可以图示法、列表法及经验式表示)；
- (11) 结论与思考题、误差分析。

要求学生取样点有代表性和季节性。

思考题：1.水中高锰酸钾指数与化学需氧量 COD 有何异同？各适用于什么情况？

2. COD 的计算公式中，为什么要用空白值 (V_0) 减去水样值 (V_1)？

(二) 氨氮的测定

1. 实验目的

- 掌握用纳氏试剂比色法测定氨氮的原理和技术及其它测定氨氮方法的原理。
- 复习含氮化合物测定的有关内容。

2. 实验原理

碘化汞和碘化钾的碱性溶液与氨反应生成淡红棕色胶态化合物，其色度与氨氮含量成正比，通常可在波长 410~425 nm 范围内测其吸光度，计算其含量。

本法最低检出浓度为 0.025 mg/L (光度法)，测定上限为 2 mg/L。采用目视比色法，最低检出浓度为 0.02 mg/L。水样做适当的预处理后，本法可用于地面水、地下水、工业废水和生活污水中氨氮的测定。

3. 需用的仪器、试剂或材料

- 仪器：723 分光光度计、带氮球的定氮蒸馏装置、pH 计、500 mL 凯氏烧瓶、氮球、直形冷凝管和导管、电炉等。
- 试剂：1 mol/L 盐酸溶液、1 mol/L 氢氧化钠溶液、轻质氧化镁 (MgO)、0.05% 溴百里酚蓝指示液、纳氏试剂、硼酸溶液、酒石酸钾钠溶液、铵标准贮备溶液、铵标准使用溶液、防沫剂等。

4. 实验步骤

(1) 水样预处理：取 250 mL 水样 (如氨氮含量较高，可取适量并加水至 250 mL，使氨氮含量不超过 2.5 mg)，移入凯氏烧瓶中，加数滴溴百里酚蓝指示液，用氢氧化钠溶液或演算溶液调节至 pH7 左右。加入 0.25 g 轻质氧化镁和数粒玻璃珠，立即连接氮球和冷凝管，导管下端插入吸收液液面下。加热蒸馏，至馏出液达 200 mL 时，停止蒸馏，定容至 250 mL。

采用酸滴定法或纳氏比色法时，以 50 mL 硼酸溶液为吸收液；采用水杨酸-次氯酸盐比色法时，改用 50 mL 0.01 mol/L 硫酸溶液为吸收液。

(2) 标准曲线的绘制：吸取 0、0.50、1.00、3.00、7.00 和 10.0 mL 铵标准使用液分别于 50 mL 比色管中，加水至标线，加 1.0 mL 酒石酸钾溶液，混匀。加 1.5 mL 纳氏试剂，混匀。放置 10 min 后，在波长 420 nm 处，用光程 20 mm 比色皿，以水为参比，测定吸光度。由测得的吸光度，减去零浓度空白管的吸光度后，得到校正吸光度，绘制以氨氮含量 (mg) 对校正吸光度的标准曲线。

(3) 水样的测定：

①分取适量经絮凝沉淀预处理后的水样（使氨氮含量不超过 0.1 mg），加入 50 mL 比色管中，稀释至标线，加 0.1 mL 酒石酸钾钠溶液。下同标准曲线的绘制。

②分取适量经蒸馏预处理后的馏出液，加入 50 mL 比色管中，加一定量 1 mol/L 氢氧化钠溶液，以中和硼酸，稀释至标线。加 1.5 mL 纳氏试剂，混匀。放置 10 min 后，同标准曲线步骤测量吸光度。

(4) 空白实验：以无氨水代替水样，做全程序空白测定。

(5) 计算：由水样测得的吸光度减去空白实验的吸光度后，从标准曲线上查得氨氮量 (mg) 后，按下式计算：

$$\text{氨氮 (N, mg/L)} = m/V \times 1000$$

式中：m——由标准曲线查得的氨氮量，mg；

V——水样体积，mL。

* 注意事项：

(1) 纳氏试剂中碘化汞与碘化钾的比例，对显色反应的灵敏度有较大影响。静置后生成的沉淀应除去。

(2) 滤纸中常含痕量铵盐，使用时注意用无氨水洗涤。所用玻璃皿应避免实验室空气中氨的玷污。

5. 教学方式

以学生操作为主，指导老师讲授，示范操作为辅，教师在实验过程中及时答疑。

实验报告一律用学校规定的实验报告本书写，报告内容应包括以下项目：

- (1) 实验题目；
- (2) 报告及同组人姓名；
- (3) 实验日期；
- (4) 实验目的；
- (5) 实验原理；
- (6) 实验仪器及试剂；
- (7) 实验步骤
- (8) 实验原始数据表格与记录；
- (9) 实验数据的整理（包括计算数据及结果数据）列表；
- (10) 实验结果（可以图示法、列表法及经验式表示）；
- (11) 结论与思考题、误差分析。

要求学生取样点有代表性和季节性。取来的水样必须当天做完。

实验十六 交通噪声监测

1. 本次实验的目的和要求

- 掌握声级计的使用方法和环境噪声的监测技术。

- 预习噪声监测的有关内容。

2. 测量条件

- 天气条件要求在无雨无雪的时间，声级计应保持传声器膜片清洁，风力在三级以上必须加风罩（以避免风噪声干扰），五级以上大风应停止测量。
- 使用仪器为普通声级计，事先仔细阅读使用说明书。
- 手持仪器测量，传声器要求距离地面 1.2 m。

3. 需用的仪器、试剂或材料

声级计

4. 实验步骤

1) 将学校（或某一地区）划分为 25*25 m 的网络，测量点选在每个网格的中心，若中心点的位置不宜测量，可移到旁边能够测量的位置，

2) 依次到各网点测量，时间从 8:00—17:00，每一网格至少测量四次，时间间隔尽可能相同。

3) 读数方式用慢挡，每隔 5 秒读一个瞬时 A 声级，连续取 200 个数据。读数同时要判断和记录附近主要噪声来源（如交通噪声、施工噪声、工厂或车间噪声、锅炉噪声……）和天气条件。

4) 数据处理

环境噪声是随时间而起伏的无规律噪声，因此测量结果一般用统计值或等效声级来表示，本实验用等效声级表示。

将各网点每一次的测量数据（200 个）顺序排列出 L_{10} 、 L_{50} 、 L_{90} ，求出等效声级 L_{eq} ，再由该网点一整天的各次 L_{eq} 值求出算术平均值，作为该网点的环境噪声评价量。

以 5 dB 不一待级，用不同颜色或阴影线（见下表）某一地区噪声污染图：

噪声带	颜色	阴影线
35dB 以下	浅绿色	小点，低密度
36—40dB	绿色	中点，中密度
41—45dB	深绿色	大点，高密度
46—50dB	黄色	垂直线，低密度
51—55dB	褐色	垂直线，中密度
56—60dB	橙色	垂直线，高密度
61—65dB	朱红色	交叉线，低密度
66—70dB	洋红色	交叉线，中密度
71—75dB	紫红色	交叉线，高密度
76—80dB	蓝色	宽条垂直线
81—85dB	深蓝色	全黑

* 注意事项

1、声级计的品种很多，事先仔细阅读使用说明书。

2、目前大多数声级计具有数据自动整理功能，作为练习希望能记录数据后，进行手工计算。

5. 教学方式

以学生操作为主，指导老师讲授，示范操作为辅，教师在实验过程中及时答疑。

实验报告一律用学校规定的实验报告本书写，报告内容应包括以下项目：

- (1) 实验题目；(2) 报告及同组人姓名；(3) 实验日期；(4) 实验目的；(5) 实验原理；
- (6) 实验仪器及试剂；(7) 实验步骤(8) 实验原始数据表格与记录；(9) 实验数据的整理(包括计算数据及结果数据)列表；(10) 实验结果(可以图示法、列表法及经验式表示)；
- (11) 结论与思考题、误差分析。

实验十七 空气质量监测综合实验

(一) 大气中 SO₂ 的监测实验

1. 实验目的

• 根据布点采样原则，选择适宜方法进行布点，确定采样频率及采样时间，掌握测定空气中 SO₂ 的采样和监测方法。

• 预习教材中的相关内容，在预习报告中拟出实验方案和操作步骤，分析影响测定准确度的因素及控制方法。

2. 实验原理

测定空气中 SO₂ 常用方法：四氯汞盐吸收-副玫瑰苯胺分光光度法，甲醛吸收-副玫瑰苯胺分光光度法和紫外荧光法等。本实验采用甲醛吸收-副玫瑰苯胺分光光度法。

二氧化硫被甲醛缓冲溶液吸收后，生成稳定的羟基甲磺酸加成倾化合物。在样品溶液中加入氢氧化钠使加成化合物分解，释放出的二氧化硫与盐酸副玫瑰苯胺、甲醛作用，生成紫红色化合物，根据颜色深浅，用分光光度计在 577 nm 处进行测定。

本方法的主要干扰物为氮氧化物、臭氧及某些重金属元素。加入氨基磺酸钠可消除氮氧化物的干扰；采样后放置一段时间可使臭氧自行分解；加入磷酸及环己二胺四乙酸二钠盐可以消除或减少某些金属离子的干扰。在 10 mL 样品中存在 50 μg Ca、Mg、Fe、Ni、Mn、Cu 等离子及 5 μg 二价锰离子时不干扰测定。

本方法适宜测定浓度范围为 0.003~1.07 mg/m³。最低检出限为 0.2 μg/10 mL。当用 10 mL 吸收液采气样 10 L 时，最低检出浓度为 0.02 mg/m³；当用 50 mL 吸收液，24 h 采气样 300 L 取出 10 mL 样品测定时，最低检出浓度为 0.03 mg/m³。

3. 需用的仪器、试剂或材料

- 仪器：723 分光光度计、便携式大气采样器、恒温水浴锅、多孔玻板吸收管（10 mL）、具塞比色管（10 mL）、移液管（1 mL、2 mL、5 mL、10 mL）、容量瓶（1000 mL、100 mL）
- 试剂：甲醛（AR）、环己二胺四乙酸二钠溶液、甲醛缓冲吸收液贮备液、甲醛缓冲吸

收液、氢氧化钠溶液（1.5 mol/L）、氨磺酸钠溶液（0.60%）、碘贮备液（0.10 mol/L）、碘使用液（0.05 mol/L）、淀粉溶液（0.5%）、碘酸钾标准溶液（1/6KIO₃）、盐酸溶液（1+9）、硫代硫酸钠贮备液（0.10 mol/L）等

4. 实验步骤

• 采样

①短时间采样：根据环境空气中二氧化硫浓度的高低，采用内装 10 mL 吸收液的 U 型玻板吸收管，以 0.5 L/min 的流量采样，采样时吸收液温度应保持在 23~29℃ 范围内。

②24h 连续采样：用内装 50 mL 吸收液的多孔玻板吸收瓶，以 0.2~0.3 L/min 的流量连续采样 24 h，采样时吸收液温度应保持在 23~29℃ 范围内。放置在室（亭）内的 24 h 连续采样器，进气口应连接符合要求的空气质量采样管路系统，以减少二氧化硫气样进入吸收管前的损失。

样品的采集、运输和贮存的过程中应避光。当气温高于 30℃ 时，采样后如不能当天测定，可将样品溶液贮于冰箱。

• 步骤

（1）标准曲线的绘制

取 14 支 10 mL 具塞比色管，分 A、B 两组，每组 7 支，分别对应编号，A 组按下表配制标准系列。

表 1 二氧化硫标准系列

管号	0	1	2	3	4
SO ₂ 标准使用液 (mL)	0	0.50	1.00	2.00	5.00
甲醛缓冲吸收液 (mL)	10.00	9.50	9.00	8.00	5.00
SO ₂ 含量 (μg)	0	0.50	1.00	2.00	5.00

B 组各管加入 0.05%PRA 使用溶液 1.00 mL，A 组各管分别加入 0.06%氨磺酸钠溶液 0.5 mL 和 1.50 mol/L 氢氧化钠溶液 0.5 mL，混匀。再逐管迅速将溶液全部倒入对应编号并装 PRA 使用溶液的 B 管中，立即具塞摇匀后放入恒温水浴中显色。显色温度与室温之差应不超过 3℃，根据不同季节和环境条件按表 2 选择显色温度与显色时间。

表 2 二氧化硫显色温度与时间对照表

显色温度 (°C)	10	15	20	25	30
显色时间 (min)	40	25	20	15	5
稳定时间 (min)	35	25	20	15	10
试剂空白吸光度 (A ₀)	0.030	0.035	0.040	0.050	0.060

在波长 577 nm 处，用 1 cm 比色皿，以水为参比，测定吸光度。

用最小二乘法计算标准曲线的回归方程式： $y=bx+a$

式中： y —标准溶液吸光度 A 与试剂空白吸光度 A_0 之差 ($A-A_0$)；

x —二氧化硫含量， μg ；

b—回归方程式的斜率， $A/\mu\text{g}\cdot\text{SO}_2/12\text{ mL}$ ；

a—回归方程式的截距（一般要求小于 0.005）。

本方法标准曲线斜率为 0.044 ± 0.002 。试剂空白吸光度 A_0 在显色规定条件下波动范围不超过 $\pm 15\%$ 。正确掌握其显色温度、显色时间，特别在 $25\sim 30^\circ\text{C}$ 条件下，严格控制反应条件是实验成败的关键。

（2）样品测定

所采集的环境空气样品溶液中如有混浊物，则应离心分离除去。样品放置 20 min，以使臭氧分解。

①短时间采样：将吸收管中样品溶液全部移入 10 mL 比色管中，用少量甲醛缓冲吸收液洗涤吸收管，倒入比色管中，并用吸收液稀释至 10 mL 标线。加入 0.60% 氨磺酸钠溶液 0.50 mL，摇匀。放置 10 min 以除去氮氧化物的干扰，以下步骤同标准曲线的绘制。

②连续 24 h 采样：将吸收瓶中样品溶液移入 50 mL 比色管（或容量瓶）中，用少量甲醛缓冲吸收液洗涤吸收瓶，洗涤液并入样品溶液中，再用吸收液稀释至标线。吸取适量样品溶液（视浓度高低而决定取 2~10 mL）于 10 mL 比色管中，再用吸收液稀释至标线，加入 0.60% 氨磺酸钠溶液 0.50 mL，混匀。放置 10 min 以除去氮氧化物的干扰，以下步骤同标准曲线的绘制。

• 计算

$$\text{二氧化硫} (\text{SO}_2, \text{mg}/\text{m}^3) = (A - A_0) / (V_s \cdot b) * (V_t / V_a)$$

式中：A—样品溶液的吸光度；

A_0 —试剂空白溶液的吸光度；

b—回归方程式的斜率， $A/\mu\text{g}\cdot\text{SO}_2/12\text{ mL}$ ；

V_t —样品溶液总体积，mL；

V_a —测定时所取样品溶液体积，mL；

V_s —换算成标准状况下（ 0°C ，101.325 kPa）的采样体积，L。

二氧化硫浓度计算结果应精确到小数点后第三位。

* 注意事项：

①环境空气样品采样时吸收液温度应保护在 $23\sim 29^\circ\text{C}$ 。此温度范围二氧化硫吸收效率为 100%， $10\sim 15^\circ\text{C}$ 时吸收效率比 $23\sim 29^\circ\text{C}$ 时低 5%，高于 33°C 及低于 9°C 时，比 $23\sim 29^\circ\text{C}$ 时吸收效率低 10%。

②进行 24 h 连续采样时，进气口为倒置的玻璃或聚乙烯漏斗，以防止雨、雪进入。漏斗不要紧靠近采气管管口，以免吸入部分从监测亭排出的气体。若监测亭内温度高于气温，采气管形成“烟囱”，排出的气体中包括从采样泵排出的气体，会使测定结果偏低。

二氧化硫气体易溶于水，空气中水蒸气冷凝在进气导管管壁上，会吸附、溶解二氧化硫，使测定结果偏低。进气导管内壁应光滑，吸附性小，应采用聚四氟乙烯管。为避光，导气管外可用绝缘材料（例如蛇形塑料管）保护。进气口与吸收瓶间的导气管应尽可能的短，最长不

得超过 6 m。导气管自上而下连续管口，安装中不可弯曲打结，以免积水。导气管与吸收瓶连接处采用导管内插外套法连接，即将聚四氟乙烯管插入吸收瓶进气口内，用聚四氟乙烯生胶带缠好，接口处再套一小段乳胶管，不得用乳胶管直接连接。

导气管应定期清洗，以除去尘埃及雾滴。每个采样点宜配备两根导气管交替使用。导气管使用前用 (1+4) 盐酸溶液、水、乙醇依次冲洗，通清洁、干燥空气吸干备用。清洗周期视当地空气含尘量及相对湿度而定。

采气管上端装一防护罩，以防雨雪和粗大尘粒随空气一直被吸入。采气管不得有急转弯或呈直角、锐角的弯曲，并尽可能短。其结构应便于管道的清洗，每年至少清洗 1~3 次。

③多孔玻板吸收瓶（管）的阻力应为 $60 \text{ kPa} \pm 0.6 \text{ kPa}$ ($45 \text{ mmHg} \pm 5 \text{ mmHg}$)。要求玻板 2/3 面积上发泡微细而且均匀，边缘无气泡逸出（若玻板与管壁连接处未封闭完全，边缘处会逸出大气泡）。

④采样时应注意检查采样系统的气密性、流量、恒温温度，及时更换干燥剂及限流孔前的过滤膜，用皂膜流量计校准流量，做好采样记录。

⑤显色温度、显色时间的选择及操作时间的掌握是本实验成败的关键。应根据实验室条件、不同季节的室温选择适宜的显色温度及时间。操作中严格控制各反应条件。当在 $25 \sim 30^\circ\text{C}$ 显色时，不要超过颜色的稳定时间，心象测定结果偏低。

⑥显色反应需在酸性溶液中进行，应将含样品（或标准）溶液、吸收液的 A 组管溶液迅速倒入装有强酸性的 PRA 使用液的 B 组管中，使混合液在瞬间呈酸性，以利反应的进行，倒完控干片刻，以免影响测定的精密度。

⑦在分析环境空气样品时，PRA 溶液的纯度对试剂空白液的吸光度影响很大。用本法提纯 PRA，试剂空白值显著下降。可使用精制的商品 PRA 试剂。

⑧氢氧化钠固体试剂及溶液易吸收空气中二氧化硫，使试剂空白值升高，应密封保存。显色用各试剂溶液配制后最好分装成小瓶使用，操作中注意保护各溶液的纯净，防止“交叉污染”。

⑨因六价铬能使紫红色化合物褪色，使测定结果偏低，故应避免用硫酸—铬酸洗液洗涤玻璃仪器。若已洗，可用 (1+1) 盐酸溶液浸泡 1 h 后，用水充分洗涤，烘干备用。

⑩用过的比色皿及比色管应及时用酸洗涤，否则红色难于洗净。具塞比色管用 (1+1) 盐酸溶液洗涤，比色皿用 (1+4) 盐酸溶液加 1/3 体积乙醇的混合液洗涤。

本方法测定环境空气中二氧化硫的标准曲线，线性很好，通过坐标原点，在低浓度的曲线下端未见明显弯曲（即无拐点）。为此，当 $y=A-A_0$ 计算时，零点 (0, 0) 应参加回归计算，即 $n=7$ 。

理论上回归线应通过坐标原点，即截距 a 等于零，在实际操作中由于存在随机误差，一般情况下截距 a 不等于零。各测点，尤其是高浓度测点的波动，影响曲线的走向，使之偏离坐标原点。

当 $|a| < 0.003$ 时， a 值可作零处理，回归方程式 $y=bx+a$ 可简化为 $y=bx$ ，采用通过原

点、与回归线平等的标线来估算测定结果。这样计算方法简单，可不必建立无截距经验方程式，但测定结果较用回归方程式计算时略微偏高（当 a 为正值时）或偏低（当 a 为负值时），影响很小，可以忽略。

一般情况下，本方法标准曲线的剩余标准差为 $0.002\sim 0.007$ ，对应的相关系数 r 为 $0.9999\sim 0.999$ 。在这种情况下，当 $0.003\leq |a|\leq 0.008$ 时，截距 a 也可以作零处理，但应建立无截距经验方程： $y=b'x$ ，其中 $b' = y$ 的平均数/ x 的平均数，相当于通过原点与均值点（ x 的平均数， y 的平均数）作一条与回归线相交的直线。从原点（0，0）到均值点一段直线，适合用于估算低浓度样品的测定结果，取 b' 的倒数为样品测定的校正因子 $B's$ ，用于样品溶液吸光度低于均值点吸收光（ y 的平均数+AO，约为 $0.18\sim 0.20$ ）的情况，计算方法简单，样品溶液吸光度低时不致出现负值结果。当样品溶液吸光度高于均值点吸光度时，仍以采用回归方程式 $y=bx+a$ 估算测定结果为宜，即 $x = [(A-A_0) - a] / b$ 。

5. 教学方式

以学生操作为主，指导老师讲授，示范操作为辅，教师在实验过程中及时答疑。

实验报告一律用学校规定的实验报告本书写，报告内容应包括以下项目：

- (1) 实验题目；(2) 报告及同组人姓名；(3) 实验日期；(4) 实验目的；(5) 实验原理；(6) 实验仪器及试剂；(7) 实验步骤(8) 实验原始数据表格与记录；(9) 实验数据的整理（包括计算数据及结果数据）列表；(10) 实验结果（可以图示法、列表法及经验式表示）；(11) 结论与思考题、误差分析。

(二) 室内甲醛的测定

1. 本次实验的目的和要求

根据布点采样原则，选择适宜方法进行室内布点采气，确定采样频率及采样时间，掌握测定室内空气中 甲醛的采样和监测方法。

1. 实践内容或原理

空气中的甲醛与酚试剂反应生成嗪，嗪在酸性溶液中被高铁离子氧化成蓝绿色化合物，根据颜色深浅，比色定量

2. 需用的仪器、试剂或材料

- 仪器：723 分光光度计、便携式大气采样器、多孔玻板吸收管、具塞比色管
- 试剂：酚试剂吸收原液、酚试剂吸收液、盐酸（ 0.1 mol/L ）、硫酸铁铵溶液（1%）、碘溶液（ $C(1/2I_2)=0.1000\text{ mol/L}$ ）、氢氧化钠溶液（ 1 mol/L ）、硫酸溶液（ 0.5 mol/L ）、硫代硫酸钠标准溶液（ $C(Na_2S_2O_3)=0.1000\text{ mol/L}$ ）、淀粉溶液（ 0.005 g/mL ）、甲醛标准贮备溶液（ $C(HCOH)\approx 1\text{ mg/mL}$ ）、甲醛标准溶液（ $C(HCOH)=1\text{ }\mu\text{g/mL}$ ）

4. 实验步骤

- 标准曲线的绘制

取 10 mL 具塞比色管 9 支，用甲醛标准溶液和吸收液按表 1 精确量取，制备标准系列→各管中加入 0.4 mL 1%硫酸铁铵溶液，摇匀后放置 15 min →调节 723 型可见分光光度计波长（ λ ）

至 630 nm 处,用 1 cm 比色皿,以水作为参比调 100%T,测定各管溶液的吸光度 A_m ($m=0, 1, 2, \dots, 8$)
 →以甲醛的质量浓度 C_m ($\mu\text{g/mL}$) ($m=0, 1, 2, \dots, 8$)为横坐标 X_m , 吸光度 A_m 为纵坐标 Y_m , 计算
 标准曲线回归方程, 绘制标准曲线, 得出回归线斜率 K (吸光度 $\times\text{mL}/\mu\text{g}$), 并以 $1/K$ (吸光度
 $\times\text{mL}/\mu\text{g}$) 作为样品测定的计算因子 B_c ($\mu\text{g}/\text{吸光度}\times\text{mL}$)。

表 1 甲醛标准系列

管号	0	1	2	3	4	5	6	7	8
标准溶液 mL	0	0.10	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00	1.50	2.00
吸收液, mL	5.0	4.9	4.8	4.6	4.4	4.2	4.0	3.5	3.0
质量浓度, $\mu\text{g/mL}$	0.0	0.02	0.04	0.08	0.12	0.16	0.20	0.30	0.40

(注: 甲醛标准曲线斜率的影响因素

- ①标准溶液的配制: 稀释倍数越低, 斜率越高;
- ②制备标准系列: 先加吸收液后加甲醛标准溶液, 然后立即混匀;
- ③环境条件(温度、湿度与气压): 温度越高、湿度越高、气压越大, 斜率越高;
- ④移液管移液的操作: 要统一(自上而下准确放量或准确量取后放下), 且移液前用溶液润洗 3 次;
- ⑤配制溶液的操作: 先用容量瓶定容(双眼平视溶液凹液面底部与容量瓶刻度线相切, 且内壁上不能挂水珠), 再充分摇匀;

• 样品的测定

采样后至实验室, 将各样品溶液充分摇匀后, 分别用少量吸收液洗涤吸收瓶, 并全部转入 10 mL 具塞比色管中, 使总体积合并为 5 mL→在每批样品测定的同时, 于 10 mL 具塞比色管中按表 1 制备 0 号管, 作为试剂空白→按照标准曲线的操作, 测定试剂空白的吸光度 A_0 和各样品溶液的吸光度 A_n ($n=1, 2, 3, \dots$) (按样品编号由小到大)。→若有样品溶液的吸光度 A_n 超过标准曲线的范围, 可用试剂空白来稀释该样品, 并按下式计算样品稀释倍数 $\kappa = V$ 稀释后/ V 未稀释, 否则取 $\kappa = 1$ →计算样品浓度 C_n (mg/m^3) ($n=1, 2, 3, \dots$)。

• 结果计算

甲醛标准储备溶液浓度的计算公式:

$$C = (V_1 - V_2) \times C_{\text{摩}} \times 15/20$$

式中 C —甲醛标准储备溶液的质量浓度, mg/mL ;

V_1 —试剂空白消耗硫代硫酸钠溶液的体积, mL , $V_1 = (V_{1-1} + V_{1-2})/2$;

V_2 —甲醛标准储备溶液消耗硫代硫酸钠溶液的体积, mL , $V_2 = (V_{2-1} + V_{2-2})/2$;

$C_{\text{摩}}$ —硫代硫酸钠标准溶液的摩尔浓度, mol/L ;

15—甲醛的当量;

20—所取甲醛标准储备溶液的体积, mL 。

标准曲线回归方程的表达式

$$Y_m = KX_m + B, R = \dots$$

式中 横坐标 X_m —甲醛的质量浓度 $C_m(m=0, 1, 2\cdots 8)$, $\mu\text{g/mL}$;

纵坐标 Y_m —吸光度 $A_m(m=0, 1, 2\cdots 8)$;

K —回归方程的斜率, 吸光度 $\times\text{mL}/\mu\text{g}$;

B —回归方程的截距, 吸光度;

R —回归方程的回归系数(若 $R < 0.999$, 重复 5.2.1~5.2.4)。

标准状态下采样体积的计算公式:

$$V_0 = V_t \times [T_0 / (T_0 + t)] \times P / P_0$$

式中 V_0 —标准状态下的采样体积, L;

V_t —采样体积(为校准流量 v 校(L/min)与采样时间 t (min)的乘积:

$$V_t = v \text{ 校} \times t), \text{ L};$$

T_0 —标准状态下的绝对温度, 273 K;

t —采样点的气温, $^{\circ}\text{C}$;

P_0 —标准状态下的大气压, 101 kPa;

P —采样点的大气压力, kPa。

样品浓度的计算公式:

$$C_n = (A_n - A_0) \times B_c \times V \times \kappa / V_0$$

式中 C_n —空气中甲醛的质量浓度 ($n=1, 2, 3\cdots$), mg/m^3 ;

A_n —样品溶液的吸光度 ($n=1, 2, 3\cdots$);

A_0 —试剂空白的吸光度;

B_c —由 5.2.4 得到的计算因子, $\mu\text{g}/\text{吸光度}\times\text{mL}$;

V —甲醛吸收液的体积(一般为 5mL), mL;

κ —由 5.3.4 得到的样品稀释倍数;

V_0 —由 6.3 计算的标准状态下的体积, L。

5. 教学方式

以学生操作为主, 指导老师讲授, 示范操作为辅, 教师在实验过程中及时答疑。

实验报告一律用学校规定的实验报告本书写, 报告内容应包括以下项目:

- (1) 实验题目;
- (2) 报告及同组人姓名;
- (3) 实验日期;
- (4) 实验目的;
- (5) 实验原理;
- (6) 实验仪器及试剂;
- (7) 实验步骤
- (8) 实验原始数据表格与记录;
- (9) 实验数据的整理(包括计算数据及结果数据)列表;
- (10) 实验结果(可以图示法、列表法及经验式表示);
- (11) 结论与思考题、误差分析。

六、实践教学中应注意的问题

1. 组织管理的要求:

- (1) 学生在实验前必须充分预习实验内容
- (2) 实验过程中必须认真细致地分析和记录实验现象与实验数据
- (3) 经实验老师允许后方可进行实验或离开实验室

2. 对教师的要求:

- (1) 在学生开始实验前讲授本次实验的原理与实验步骤
- (2) 指导学生进行实验, 解答学生提出的问题

3. 对学生的要求:

- (1) 实验前了解实验内容与目的
- (2) 可以自主设计设计步骤
- (3) 认真细致地进行实验, 观察记录实验现象与数据
- (4) 实验完成后, 整理好实验仪器
- (5) 实验后认真撰写实验报告, 并作为学生实验成绩评定的重要依据之一

4. 对教学基地、实验室和实验员的要求:

实验员应该在实验前对所需要的仪器进行调试检查, 以及准备需要的一切试剂, 保证实验正常进行。

七、教材及主要参考书

1、选用教材:

自编讲义

2、主要参考书:

- (1) 《水处理微生物学》, 张胜华等编, 化学工业出版社, 2005。
- (2) 《微生物学教程》, 周德庆著, 高等教育出版社, 2002。
- (3) 《环境微生物学》, 王家玲等编, 高等教育出版社, 2004。
- (4) 《环境微生物学实验》, 王家玲主编, 高等教育出版社, 2004。
- (5) 《现代生命科学概论》, 黄诗笺等编, 高等教育出版社, 2001。

八、教改说明及其他

无

执笔人: 张晓文 系室审核人: 吕俊文

4. 《环境工程实验 2》实验教学大纲

experiments(II) for environmental engineering

课程编号：0810010160222

课程类别：独立开设实验课程

学时：32（总学时 32 实验学时 32） 学分：1.0

适用对象：环境工程专业

先修课程：水污染控制、大气污染控制、环境监测与分析化学

一、课程的性质与任务

“环境工程实验 2”包括“环境监测与分析化学”（部分）与“大气污染控制工程”、“水污染控制工程”课程实践教学环节之一，目的是为了进一步巩固和加深课堂所学的理论知识，培养和锻炼学生独立拟定实验方案、观察、测定、分析、处理实验数据以及撰写实验报告的能力，提高学生实验研究的综合素质。

二、教学的目的与要求

1. 教学目的

- 1) 掌握实验所用仪器、设备的基本原理和使用方法。
- 2) 掌握所开实验的基本知识内容。
- 3) 熟练掌握实验的操作步骤。
- 4) 对实验数据进行处理、分析实验结果和书写实验报告。
- 5) 培养学生独立实验、设计实验方案和初步的创新能力。

2. 教学要求

- 1) 在实验课中，开课教师应向学生讲明该课程实验的教学要求、实验课安排和进度、实验考核方法、实验报告要求和实验室的管理要求。
- 2) 每次实验之前，学生必须对实验内容进行预习，作出预习报告方可进行实验。
- 3) 实验分组进行，在规定的学时内由学生本人独立操作，实验中应分工负责，指导教师负责解答实验过程中出现的各种问题和学生的疑问，引导学生掌握方法，教师不得包办代替。
- 4) 实验过程中，学生应认真记录实验数据，每次实验结果需经教师认可确认。
- 5) 任课教师要认真做好每次实验的准备工作，实验过程中做好学生实验情况记录。

三、考核方式及办法：

实验成绩由实验过程中学生的表现和实际动手能力、撰写实验报告两部分构成

成绩评定：实验态度：10%，实验操作：60%，实验报告：30%

四、实验项目名称与学时分配：

《环境工程实验 2》安排一览表

序号	实验项目名称	学时分配	必开或选开	实验类型	分组人数	实验模块
1	粉尘真密度的测定	2	必开	综合	4	环境类
2	旋风除尘性能测试	2	必开	综合	4	
3	室内空气甲醛污染监测	2	选开	研究	4	
4	碱液吸收二氧化硫气体实验	2	选开	设计	4	
5	曝气设备清水充氧性能测定	3	必开	验证	4	
6	污水充氧修正系数 α 、 β 值的测定	3	必开	验证	4	
7	成层沉淀实验	2	必开	验证	3	
8	混凝沉淀实验	3	必开	综合	4	
9	活性炭吸附实验	3	必开	验证	4	
10	校园环境监测实验	6	选修	综合	4	
11	原子吸收分光光度法测定土壤中重金属镉	2	选修	综合	4	

五、实验项目的具体类容：

实验一 粉尘真密度的测定

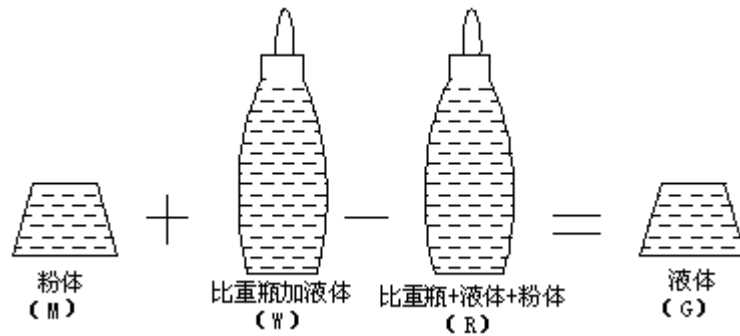
1. 实验目的

- (1) 了解测定粉尘真密度的原理并掌握真空测定粉尘真密度的方法
- (2) 了解引起真密度测量误差的因素及消除方法，提高实验技能。

2. 实验原理

粉尘真密度是指密实粉尘单位体积的质量。测定粉尘真密度一般采用比重瓶法，粉尘试样的质量可用天平称重，而粉尘物体的体积测量则由于粉尘吸附的气体及粒子间的空隙占据大量体积，故用简单的润湿排液的方法不能直接测得粉尘的体积，而应对粉尘进行真空排气处理，使浸液充分充填各空隙，测得粉尘物质的真实体积后，再求得粉尘的真密度。

称重过程中的数量关系可图解如下：



粉体真密度计算公式为：
$$\rho_p = \frac{M}{V} = \frac{M}{\frac{G}{\rho_L}} = \frac{M}{\frac{M+W-R}{\rho_L}} = \frac{M\rho_L}{M+W-R}$$

式中 M——干燥粉体的质量，克；

W——比重瓶加液体介质的质量，克；

R——比重瓶加液体介质和试样的质量，克；

ρ_L ——液体介质的真密度，克 / (厘米)³。

3. 需用的仪器、试剂或材料

带有磨口毛细管塞的比重瓶（每个容量为 100ml）、分析天平（分度值为 0.0001g）、水银温度计（温度范围为 0~50°C）、恒温水浴（能保持 20±50°C 分度值为 0）、电烘箱、真空干燥器、烧杯、抽真空装置（真空缸、贮液器、真空活塞、孔板、硬橡胶管、橡胶塞、比重瓶托架、干燥瓶、U 型压力计（或电阻真空计）、真空泵）。

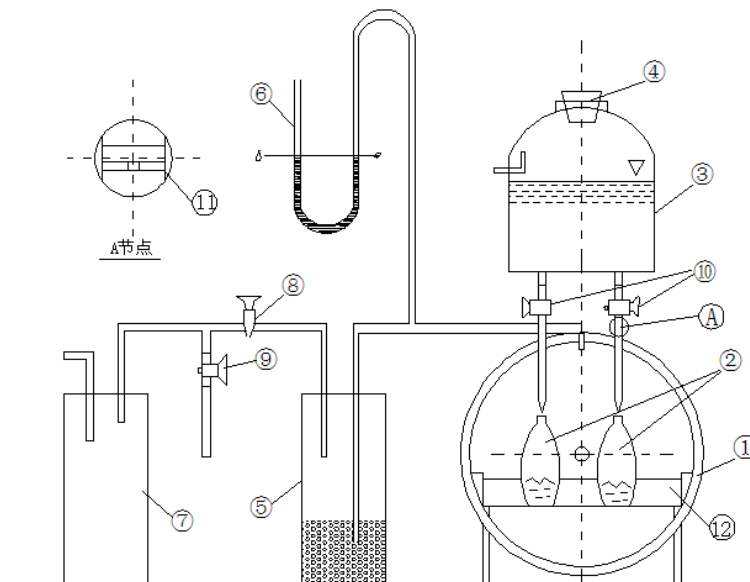


图 1 比重瓶真空法测定粉体真密度装置示意图

1-真空缸；2-比重瓶；3-贮液器；4-橡胶塞；5-干燥瓶；

6-U 型压力计；7-真空泵；8、9、10-活塞；11-孔板；12-比重瓶托架。

4. 实验步骤

(1) 把比重瓶清洗干净，放入电烘箱内烘干，然后在干燥器中自然冷却至室温。

(2) 取有代表性的粉体试样 40~80g，放入电烘箱内，在 $110 \pm 5^\circ\text{C}$ 下干燥 1 小时或至恒重，然后在干燥器中自然冷却至室温。

(3) 取四个干燥过的比重瓶，分别放到天平上称重，以 M_1 表示。其中一个比重瓶作质量保证用，另三个比重瓶作测试用。

(4) 在每个测试用比重瓶中放入 5~10g 的干燥粉体，分别在天平上称重，以 M_2 表示。

$M_2 - M_1 = M$ ， M 为粉体试样的质量，在质量保证比重瓶中放入质量保证用的粉体，称重求出粉体质量 M 。

(5) 连接抽真空装置。开泵抽真空。若剩余压力（绝对压力）小于 20 毫米汞柱时，方可进行下一步操作，否则应找出原因。直至使剩余压力小于 20 毫米汞柱为止。

(6) 把装有粉体的比重瓶放在比重瓶托架上，再放入真空缸内，使比重瓶口对准注液管。关闭活塞 8、9、10，取下橡胶塞 4，向贮液器中注入液体介质 900ml，安上橡胶塞 4。开动真空泵，打开活塞 8。当真空缸内的剩余压力达到 20 毫米汞柱以下时，再继续抽气 30 分钟。

(7) 关闭活塞 8、开启活塞 9，关闭真空泵。

(8) 依次开启活塞 10，分别向比重瓶中注入液体介质，大约为比重瓶容积的 3/4 时停止注液。静置 5~10 分钟。当液面上没有粉体漂浮时，再注液至低于瓶口 12~15 毫米。从真空缸中拿出比重瓶，慢慢地盖上瓶塞，使瓶内和瓶塞的毛细管中无气泡。

(9) 把比重瓶放入恒温水浴中，使恒温水浴水面低于比重瓶口 10 毫米左右，在 $20 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 的温度下恒温 20~40 分钟。然后拿出比重瓶，用滤纸吸掉比重瓶塞毛细管口上高出的一滴液体（但切勿将毛细管中的液体吸出）。仔细擦干比重瓶的外部，并立即称重。准确到 0.0001g，其质量以 R 表示。

(10) 把比重瓶中试样及液体倒掉。清洗干净，再用液体介质冲洗几次。然后，把比重瓶放在比重瓶托架上，再放入真空缸中，使比重瓶口对准注液管。开启活塞 10 向比重瓶中注入液体介质，使液面低于瓶口 12~15 毫米，取出、盖上瓶塞。使瓶内及瓶塞毛细管中无气泡。

(11) 把装满液体介质的比重瓶放入恒温水浴中恒温。按本步骤第 9 条规定进行操作。最后称出比重瓶加液体介质的质量。以 W 表示。

实验二 旋风除尘器性能测试

1. 实验目的

通过实验初步了解和掌握旋风除尘器性能测定的主要内容和方法，并且对影响旋风除尘

器性能的主要因素有较全面的了解，同时掌握旋风除尘器入口风速与阻力、除尘效率、除尘阻力之间的关系，由此进一步掌握旋风除尘器的使用条件。

2. 实验原理

(1) 除尘效率计算：

$$\eta = (G_2/G_1) * 100\% \quad (1)$$

式中： η ——除尘效率，%；

G_1 和 G_2 ——发尘量与除尘量，g。

在除尘器不发生漏风的情况下，公式可改写为：

$$\eta = (C_j - C_z) / C_j \quad (2)$$

式中： C_j 和 C_z ——除尘器进口、出口的气体含尘浓度， mg/m^3 ；

按公式(1)进行称为称重法，此法较精确，主要应用于实验研究。按公式(2)进行称为浓度法，主要应用于生产现场，它的测定工作量大。本实验采用称重法。

(2) 除尘器阻力计算

由于实验装置中除尘器进出口管径相同，故除尘器阻力可用除尘器前后测定断面的静压差扣除管道沿程阻力与局部阻力求得。

$$\Delta P = \Delta H - \Sigma \Delta h = \Delta H - (R_L \cdot l + \Delta P_m) \quad (3)$$

式中： ΔP ——除尘器阻力，Pa； ΔH ——前后测量断面上的静压差，Pa； ΔP_m ——局部阻力

$\Sigma \Delta h$ ——测点断面之间系统阻力，Pa； R_L ——比摩阻， Pa/m ； l ——管道长度，m；

(3) 除尘器进口风速计算

由 $P_d = \frac{1}{2} \rho v^2$ 计算进口风速 v 。

式中： P_d ——除尘器进口截面处动压，Pa； ρ ——空气密度， g/m^3 ； v ——进口风速 m/s ；

3. 需用的仪器、试剂或材料

毕托管 $\phi 10 \times 500\text{mm}$ 、倾斜微压计 YYT-2000 型 0~2000Pa、除尘器 CLT/A-50Nx、天平 2000g 精度 1g、粉尘、玻璃水银温度计、空盒气压计 DYM-3、卷尺 5m 等。

4. 实验步骤

(1) 开风机，测试除尘器前后风管 1/3 直径（即 $1/3 \times 280 = 93.3\text{mm}$ ）处的动压及静压。

(2) 根据动压算出进口风速和风量，设定进气含尘浓度为 $4\text{g}/\text{m}^3$ ，根据风量计算 100 秒时间所需要加入的粉尘量 G_1 。

(3) 用天平称出粉尘量 G_1 。

(4) 在 100 秒内将粉尘量 G_1 均匀地从加尘漏斗中加入风管内。

(5) 关掉风机，收集除尘器灰斗中的粉尘 G_2 并用天平称重。

(6) 调节阀门，改变进口风速，重复 1~5，做 3 次。

5. 教学方式

课程主讲教师讲授实验原理,实验教师介绍实验用仪器设备用途、操作方法及注意事项,学生可以自主设计实验也可以按指导书完成。

6. 实验报告要求

以除尘器进口风速为横坐标、除尘器效率为纵坐标,以除尘器进口风速为横坐标、除尘器的阻力为纵坐标,绘制曲线 $\eta-f(v)$ 、 $\Delta P-f(v)$;并思考讨论对旋风除尘器效率(η)和阻力(ΔP)随进口风速变化规律及它对除尘器的选择和运行使用有何意义;最后进行实验误差分析。

实验三 室内空气甲醛污染监测

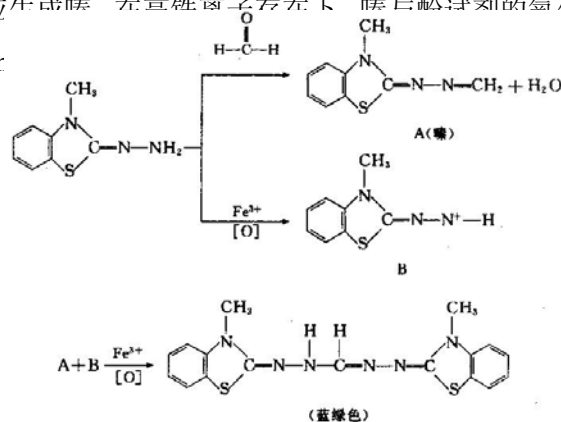
1. 实验目的

室内空气污染对人体健康的影响最为显著,与大气环境相比又有其特殊性。室内空气污染监测是评价居住环境得一项重要工作。

本实验选择刚装修完和装修已久的不同房间,或者在一个刚装修完房间的不同通风条件下,进行采样分析。通过本实验应达到以下目的:掌握酚试剂分光光度法测定空气中甲醛浓度的方法。

2. 实验原理

甲醛与酚试剂反应生成嗪,嗪在酸性溶液中被铁离子氧化成蓝绿色化合物。在波长 630nm



采样体积为 5mL 时, 检出浓度为 0.01mg/m³; 采样体积为 10mL 时, 最低检出浓度为 0.01mg/m³。

3. 需用的仪器、试剂或材料

大型气泡吸收管、空气采样器、塞比色管、分光光度计、吸收液、硫酸铁铵溶液、硫代硫酸钠标准溶液、甲醛标准溶液等。

4. 实验步骤

(1) 采样

用内装 5.0mL 吸收液的气泡吸收管, 以 5.0L/min 流量, 采气 10L。

(2) 测定

①标准曲线的绘制: 用 8 支 10mL 比色管, 按表 1 配制标准色列。然后向各管中加入 1% 硫酸铁铵溶液 0.40mL 摇匀。在室温下 (8~35℃) 显色 20min。在波长 630nm 处, 用 1cm

比色皿，以水为参比，测定吸光度。以吸光度对甲醛含量 (μg)，绘制标准曲线。

②样品的测定：采样后，将样品溶液移入比色皿中，用少量吸收液洗涤吸收管、洗涤液并入比色管，使总体积为 5.0mL。室温下 (8~35℃) 放置 80min 后，其它操作同标准曲线的绘制。

5. 教学方式

课程主讲教师讲授实验原理，实验教师介绍实验用仪器设备用途、操作方法及注意事项，学生可以自主设计实验也可以按指导书完成。

6. 实验报告要求

绘制标准时与样品测定时温差不超过 20℃。

实验四 碱液吸收二氧化硫气体实验

1. 实验目的

- (1) 了解填料塔吸收 SO_2 的原理和方法；
- (2) 了解测定化学吸收体系 (碱液吸收 SO_2) 的体积吸收系数；
- (3) 掌握吸收塔吸收净化的操作方法、吸收效率及降压方法。

2. 实验原理

吸收液从高位液槽通过转子流量计由填料塔上部经喷淋装置进入塔内，流经填料表面，由塔下部排出，进入受液槽。空气由空压机进入缓冲灌， SO_2 由 SO_2 钢瓶进入缓冲灌，经缓冲灌混合后的含 SO_2 空气从塔底入口进入填料塔内，通过填料层与 NaOH 喷淋吸收液充分混合、接触、吸收，尾气由塔顶排出。

3. 需用的仪器、试剂或材料等

SO_2 酸雾填料吸收塔、 SO_2 与空气混合罐、转子流量计、空压机、 SO_2 钢瓶、 SO_2 自动测定仪、温度计、分析纯硫酸、30% H_2O_2 、NaOH 试剂、滤纸、控制阀、橡胶连接管。

4. 实验步骤

- (1) SO_2 浓度测定仪中吸收液的配制：

取分析纯硫酸 27.8ml，慢慢滴入去离子水中稀释至 1000ml。将过氧化氢 3ml (H_2O_2 分析纯度 30%) 与硫酸溶液 5ml 混合，用去离子水 (蒸馏水) 稀释至 1000ml (1000ml 吸收液可测量 10 次)。

- (2) 称取 NaOH 试剂 5Kg 溶于 0.1 m^3 水中，作为吸收系统的吸收液。

(3) 正确连接实验装置（包括设置 SO_2 自动测定仪参数），并检查是否漏气，在高水位槽中注入配置好的 NaOH 碱溶液。

(4) 打开填料塔的进液阀，并调节液体流量，使液体均匀喷布，并沿填料塔缓慢流下，以充分润湿填料表面，记录此时流量。

(5) 开启空压机，并逐渐打开吸收塔的进气阀，调节空气流量，仔细观察气液接触状况。

(6) 待吸收塔能正常工作后，开启 SO_2 气瓶，并调节其流量，使空气中的 SO_2 含量为 0.1-0.5%（体积）。

(7) 经数分钟，待塔内操作完全稳定后，开始测量记录数据。

(8) 应测量记录的数据包括进气流量 Q_1 、喷淋液流量 Q_2 、进口 SO_2 浓度、出口 SO_2 浓度、填料塔阻力 Δh 。

(9) 在进口 SO_2 浓度和流量不变的情况下，改变喷淋液流量，重复上述操作，测量 SO_2 出口浓度，共测取 4-5 组数据。

(10) 实验完毕后，先关掉 SO_2 钢瓶，待 1-2 分钟后再停止供液，最后停止鼓入空气。

5. 教学方式

课程主讲教师讲授实验原理，实验教师介绍实验用仪器设备用途、操作方法及注意事项，学生可以自主设计实验也可以按指导书完成。

6. 实验报告要求

计算 5 种工况下的液气比、对应液气比提出最佳工况，比较填料塔阻力数据的变化，分析填料塔阻力的影响因素。

实验五 曝气设备清水充氧性能测定

见《给排水工程实验 3、4》实践教学大纲，实验九

实验六 污水充氧修正系数 α 、 β 值的测定

见《给排水工程实验 3、4》实践教学大纲，实验十

实验七 成层沉淀实验

见《给排水工程实验 3、4》实践教学大纲，实验七

实验八 混凝沉淀实验

见《给排水工程实验 3、4》实践教学大纲，实验一

实验九 活性炭吸附实验

见《给排水工程实验 3、4》实践教学大纲，实验八

实验十 校园环境监测实验

1. 实验目的

环境问题已经成为世界各国普遍关心的共同性问题，但人们往往关注的是大区域的及较明显的环境质量、环境问题，而对自己生存的小环境中存在的问题及隐患却重视不够，导致污染加重、蔓延、危害生物及人体健康。身为校园一员的环境工程专业学生，有责任有义务对校园环境进行监测了分析。同时，对校园环境进行监测，可以训练学生环境监测的基本技能，提高学生相对独立的实验工作能力，使学生初步了解环境监测的一般步骤、环境监测样品的采样和保存方法、各指标的分析与监测原理、监测方法。最终培养学生协作精神、分析和解决问题能力、理论与实践相结合的操作技能，以及实事求是、精益求精的科学态度。

2. 实验原理与步骤：

第一部分 校园大气环境质量监测

校园大气质量监测可以作为环境监测的综合实验或环境工程专业学生毕业设计（论文）的课题，由教师给出校园环境监测的有关任务书，学生根据任务书的内容完成资料收集、方案设计、监测分析、数据处理工作，并对环境质量进行简单评价、提出存在的问题与可供实际操作的解决方案等。监测任务完成过程中，学生应向实验室提交完成任务所需的仪器、设备和药品清单；灵活掌握大气中 TSP、SO₂、NO₂、CO，以及室内总挥发性有机物 TVOC、CO₂、氡等指标的分析测试方法；熟练并正确掌握大气采样器、分析试验仪器的使用与维护管理；对分析实验室有较深入的了解。

本实例以衡阳市某大学校园环境监测为例进行介绍。该大学教学区约有师生员工三万人，主体由一个医学院（北校区）、一个工学院（南校区）、一个前核工业科研所（西校区）和校园附近的新建学生公寓等组成，学校的四个附属医院未列入本实例监测范围。实例包括两部分，其一是教师给出的监测示例，其二是学生对校园进行空气质量监测的实例。

一、教师示例

(一) 环境概况

大气污染受气象、季节、地形、地貌等因素的强烈影响而随时间变化，因此应对校园所在区域内自然与社会环境特征进行调查。

(1) 自然环境资料。包括地理位置与交通、所在区域的地形地貌、气象、自然资源、自然灾害等资料。其中气象资料主要收集校园所在地附近气象站(台)近年的气象数据，包括风向、风速、气温、气压、降水量、相对湿度等，具体调查内容如表 1 所示。

表 1 气象资料调查

项 目	调 查 内 容
风 向	主导风向、次主导风向及频率等
风 速	年平均风速、最大风速、最小风速、不同方向的风频率、年静风频率等
气 温	年平均气温、最高气温、最低气温等
气 压	年平均气压
降水量	平均年降水量、每日最大降水量、不同风向年降水量等
蒸发量	年平均蒸发量
相对湿度	年平均相对湿度

(2) 社会环境资料，如当地工业、农业及人口概况，学校概况等。

(二)现状资料的收集与调查

该校除一般学校的教学区、居住区、实习工厂等主要场所外，还具有一个原核工业的研究所，该所具有一个氡实验室，因此，放射性氡的测定也将是其中一个重要的内容。校园大气污染源主要是人为污染源，包括：①排放的废气。其主体是以煤和石油为燃料的燃烧过程产生的各类废气，如锅炉房、饭店炉灶产生的 SO_2 、 CO 、 CO_2 、 NO_2 与粉尘等，此外，氡实验室排放的氡、金工实习车间产生的重金属粉尘、防氡涂料厂产生的各类气态和蒸气态物质。②家庭炉灶与取暖设备排放的废气。当地居民生活使用炉灶的比重较大，这部分污染源数量大，分布在学校南北西三个校区的生活区、学生及教工食堂，排放高度低而不易扩散，是校园低空污染不可忽视的污染源。尤其是冬季取暖季节和每日三餐前后，消耗的燃煤数量多，煤质又差，燃烧不完全，烟囱较低，所以产生的烟尘、 SO_2 、 CO 、 CO_2 等有害气体的数量较多。③交通运输工具排放废气，其主体是汽车。学校位于衡阳市中心，校园四周是主要的交通干线，车流量较大，汽车排气污染较严重。汽车排气中除一氧化碳、二氧化碳等主要成份外，还含碳氢化合物、还原物质乙炔、醛、热，以及由于燃烧不充分而造成的污染。④室内空气污染。室内空气质量受大气污染影响而含有 SO_2 、 CO 、 CO_2 、 NO_2 等污染物，并受通风条件影响，此外，室内空气质量还可能因各类装饰材料、胶粘剂、涂料及部分劣质建材等影响而导致污染。劣质装饰材料中游离甲醛，水性涂料、水性胶粘剂和处理剂中 VTOC 与游离甲醛，溶剂型涂料、胶粘剂中 VTOC 和苯系物质，部分建材中天然放射性质含量超过标准值，易造成室内(特别是新装修建筑物室内)空气中上述物质的污染，影响人体健康。

对监测区现场调查，应对以下调查内容以表格或其他能清晰表达的形式加以记录。

(1) 测区内大气污染源：调查污染源名称、数量、方位、排出口位置，主要污染物

及排放量、排放方式，同时了解所用原料、燃料及消耗量等。

(2) 监测区周边大气污染源：调查排污单位名称、排污类型、数量、方位及排放量等。校园及校园周围大气污染源调查可按表 2 进行。

表 2 校园大气污染源情况调查

序号	污染源名称	数量	燃料种类	污染物	排放方式	治理措施	备注
1							
2							

(3) 监测区周边的交通运输引起的污染情况：主要对车流量进行统计调查。校园周围主要交通干线汽车尾气排放情况调查形式如表 3 所示。

表 3 汽车尾气调查情况

路段	××街(路)	××街(路)	××街(路)	××街(路)
车流量 辆/h	大型车			
	中型车			
	小型车			

(4) 其他你认为应该调查的内容：如典型家居、学生宿舍及教室内污染来源调查等。

(5) 功能区划分：根据校园各部分的功能，将校园划分为“居住区”、“教学区”、“科研与办公场所”、“实习工厂”等，同时对每个区的绿化情况进行统计。

(三) 大气环境监测因子的筛选

根据国家环境空气质量标准、室内空气质量标准和校园及其周边的大气污染物排放情况来筛选监测项目。高等学校一般无特征污染物排放，结合大气污染源调查结果，可选 TSP、PM₁₀、SO₂、NO₂、CO 等作为大气环境监测项目；VOC、甲醛、苯系物、氡等作为室内空气质量的监测项目。

(四) 大气环境监测方案的制订

采样点的布设：根据污染物的等标排放量，结合校园各环境功能区的要求，及当地的地形、地貌、气象条件，按功能区布点法和网格布点法相结合的方式来布置采样点。各测点名称及相对校园中心点的方位和直线距离可按表 4 列出，各测点具体位置应在总平面布置图上注明。室内环境监测选择典型教工住宅、学生宿舍及教室进行监测。

表 4 测点名称及相对方位

测点编号	测点名称	测点方位	到校园中心点距离/m
1 [#]			
2 [#]			
...			

监测项目和分析方法的确定：根据大气环境监测因子的筛选结果所确定的监测项目，按照《空气和废气监测分析方法》、《环境监测技术规范》、《室内空气质量标准》和《环境空气质量标准》所规定的采样和分析方法执行。具体方法可按表 5 列出。

表 5 环境空气监测项目及分析方法

监测项目	采样方法	流量/(L/min)	采气量/L	分析方法	检出下限/(mg/m ³)
PM ₁₀					
SO ₂					
NO ₂					
...					

采样时间和频次：间歇性采样法，连续监测几天时间，每天采样频次根据学生的实际情况而定，PM₁₀、SO₂、NO₂、CO 等每隔 4h 左右采样一次；甲醛每天采样一次，氡连续采样。

(五) 样品采集与分析测试

按照相关技术规范要求进行大气样品的采集，样品采集完，按照规定立即进行分析应深入了解大气环境中各污染因子的具体采样方法、分析方法。采样与分析测试还包括前期的药品的配制、实验仪器设备的准备与调试、工作曲线的绘制，也包括分析过程结束或全部监测分析工作结束时的废弃物处理及实验室的清洁等。

(六) 监测过程中的质量控制

主要包括采样、质控系统、检查方法等内容。采样过程应填写详细的采样记录表，记录表根据监测项目的需要自行编制，一般监测项目需记录监测时的温度、流量、采样时间等参数，此外，采样应同时记录湿度、气压、风向、风速、阴晴等气象因素。

(七) 数据分析及报告书的编写

数据整理：监测结果的原始数据要根据有效数字的保留规则正确书写，监测数据的运算要遵循运算规则。在数据处理中，对出现的可疑数据，首先从技术上查明原因，然后再用统计检验处理，经检验验证属离群数据应予剔除，以使测定结果更符合实际。

分析结果的表示：将监测结果按样品数、检出率、浓度范围进行统计并制成表格，同时列出标准值，将监测结果与标准值比较，列出超标情况。可按表 6 统计分析结果。

表 6 环境空气监测结果统计

编号	测点名称	样品数	检出率 %	小时平均值			日均值		
				浓度范围	超标率 %	最大超 标倍数	浓度范围	超标率 %	最大超 标倍数
1									
2									
...									
标准值									

监测报告的编写：校园大气环境监测为研究校园大气环境质量变化及制订校园环境保护规划提供了基础数据。因此，监测报告除应对监测项目进行叙述与分析外，还应对校园的空气质量进行简单评价、对大气监测结果进行讨论，发表自己的观点及意见，依据监测结果、污染分布，追踪污染路线，寻找污染源，为校园环境污染的治理提供依据。

(八) 组织学生进行讨论

讨论的目的是期望学生对监测实习的组织形式提出好的改进意见，讨论内容可包括：

(1) 对监测结果讨论的内容及方式：首先每一个采样点上的采样人员介绍本采样点及其周围环境；监测过程中出现哪些异常问题，对本组所得监测结果进行总结；找出本组各采样时段内不同的大气污染物的变化规律(同一天的不同时段及不同天的同一相应时段各污染物的浓度的变化趋势)；与其他组的相应结果进行比较，得出本采样点周围的空气环境质量。

(2) 对校园空气质量评价：将校园的大气质量与国家相应标准比较得出结论；分析校园大气质量现状。找出出现目前校园空气环境质量现状的原因；预测未来校园大气质量；提出改善校园空气环境质量的建议及措施。

第二部分 校园水环境质量监测

1. 实验目的

①通过水环境监测实习，进一步让学生巩固课本所学知识，深入了解水环境监测中各环境污染因子的采样予分析方法、误差分析、数据处理等方法与技能。

②通过对校园地表水、饮用水和污水的水质监测，以掌握校园内的水环境质量现状，并判断水环境质量是否符合国家有关环境标准的要求。

③培养学生的实践操作技能和综合分析问题的能力。

2. 实验原理

(1) 水环境监测调查和资料收集 校园环境水样很多，有汇集在校园内的地表水，也有来源于地壳下部的地下水(井水、泉水)，此外还有校园排放的废水。水环境现状调查和资料收集，除调查收集校园内水污染物排放情况外，还需了解校园所在地区有关水污染源及其水质情况，有关受纳水体的水文和水质参数等。有关水污染源的调查可按表7进行。

表7 水污染源调查

污染源名称	用水量/(t/h)	排水量/(t/h)	排放的主要污染物	废水排放去向
学生生活				
实验室				
印刷厂				
废水总排放口				

(2) 水环境监测项目和范围

①监测项目 水环境监测项目包括水质监测项目和水文监测项目。校园水环境监测项目可以只开展水质监测项目。对于地表水，水质监测项目可分为水质常规项目、特征污染物和水域敏感参数。水质常规项目可根据校园内实验室、校办工厂、医院、生活区等排放的污染物来选取，敏感水质参数可选择受纳水域敏感的或曾出现过超标而要求控制的污染物。对于地下水，若用做生活饮用水源，监测项目应按照国家卫生部《生活饮用水水质卫生规范》(2001)执行。为划分地下水类型和反映水质特征的监测项目有矿化、总硬度、钾、钠、钙、

镁、重碳酸根、硫酸根等。河口和海湾水域的监测项目可参照国家《海水水质标准》

(GB3097—1997)规定的水质要求和有毒物质确定。

②监测范围 地表水监测范围必须包括校园排水对地表水环境影响比较明显的区域，应能全面反映与地表水有关的基本环境状况。如果校园内有湖泊（或人工湖），可直接在校园内湖泊取样监测。如果校园排水直接排入校园外河流、湖泊及海洋等地表水体，应根据地表水的规模和污水排放量来确定调查范围。表8列出了根据污水排放量与水域规模确定的河流环境影响现状调查范围，对河流影响范围较大取较大值，反之取较小值。如果下游河段附近有敏感区，如水库、水源地、旅游区域等，则监测范围应延长到敏感区上游边界。表中同时还列出了湖泊的调查范围。海域的监测范围通常根据废水和废水中污染物排放量大小，以及海洋特征而定。由于污染物在海湾中进行扩散时受潮汐、波浪、海流等多种因素作用，一般多以3.5m等深线以下的范围作为监测海域，如果海底坡度较小，可适当缩小监测范围。另外也可以岸边排放口为圆心，取其半圆形面积作为监测海域的范围，见表9。如果校园废水排入城市下水道，可只在污水总排口进行监测。地下水监测范围可以只在校园区域内监测布点。

表8 地表水环境现状调查范围

污水排放量 / (m ³ /d)	河 流			湖 泊	
	大河 (≥150m ³ /s)	中河 (15-150m ³ /s)	小河 (≤15m ³ /s)	半径/km	面积/km ²
>50000	15-30	25-40	30-50	4-7	25-80
50000-20000	10-20	15-30	25-40	2.5-4	10-25
20000-10000	5-10	10-20	15-30	1.5-2.5	3.5-10
10000-5000	2-5	5-10	10-25	1-1.5	2-2.5
<5000	<3	<5	5-15	≤1	≤2

表9 海湾环境监测的海域调查范围

污水排放量/ (m ³ /d)	调查范围	
	调查半径/km	调查面积（按半圆计算）/km ²
>50000	5-8	40-100
50000-20000	3-5	15-40
20000-5000	1.5-3	3.5-15
<5000	<1.5	<1.5

(3) 监测点布设、监测时间和采样方法

①监测点布设 监测断面和采样点的设置应根据监测目的和监测项目，并结合水域类型、水文、气象、环境等自然特征，综合诸多方面因素提出优化方案，在研究和论证的基础上确定。

河流决策断面一般应设置三种断面，即对照断面、控制断面和削减断面。对照断面反映

进入本地区河流水质的初始情况，布设在不受污染物影响的城市和工业排污区的上游；控制断面布设在评价河段末端或评价河段有控制意义的位置，诸如支流汇入、废水排放口、水工建筑和水文站下方，视沿岸污染源分布情况，可设置一个至数个控制断面；削减断面布设在控制断面的下游，污染物浓度有显著下降处，以反映河流对污染物的稀释自净情况。断面上的采样点根据河流水面宽度和水深，按国家相关规定确定。

湖泊、海湾中的监测点应尽可能覆盖污染物所形成的污染面积，并切实反映水域水质和水文特征，如果校园排水不是直接排入河流、湖泊和海湾，而是排入城市下水道，可以在校园污水总排口进行监测布点，以了解其排水水质和处理效果。

②监测时间 监测目的和水体不同，监测的频率往往也不相同。对河流和湖泊的水质/水文同步调查 3~4d，至少应有 1d 对所有已选定的水质采纳书采样分析。一般情况下每天每个水质参数只采一个水样。对校园废水总排口，可每隔 2~3h 采样一次。地下水采样时间和频率应与地表水同步进行。

③采样方法 根据监测项目确定是混合采样还是单独采样。采样器需事先用洗涤剂、自来水、10%硝酸或盐酸和蒸馏水洗涤干净、沥干，采样前用被采集的水样洗涤 2~3 次。采样时应避免激烈搅动水体和漂浮物进入采样桶；采样桶桶口要迎着水流方向浸入水中，水充满后迅速提出水面，需加保存剂时应在现场加入。为特殊监测项目采样时，要注意特殊要求，如应用碘量法测定水中溶解氧，需防止曝气或残存气泡的干扰等。

地下水样的采集，应在监测井旁选择标志物或编号，保证每次在同一采样点采样。从机井采样时，先放水 5~min，排净积留于管道中的存水，然后采样。采集泉水时，应在泉水流出处或水流汇集的地方采样。

(4) 样品的保存和运输 水样存放过程中，由于吸附、沉淀、氧化还原、微生物作用等，样品的成分可能发生变化，因此如不能及时运输和分析测定的水样，需采取适当的方法保存。较为普遍采用的保存方法有：控制溶液的 PH 值、加入化学试剂、冷藏和冷冻。

采取的水样除一部分现场测定使用外，大部分要运送到实验室进行分析测试。在运输过程中，为继续保证水样的完整性、代表性，使之不受污染，不被损坏和丢失，必须遵守各项保证措施。根据水样采样记录表清点样品，塑料容器要塞紧内塞、旋紧外塞；玻璃瓶要塞紧磨口塞，然后用细绳将瓶塞与瓶颈拴紧。需冷藏的样品，配备专门的隔热容器，放冷却剂。冬季运送样品，应采取保温措施，以免冻裂样瓶。

(5) 分析方法与数据处理

①分析方法 分析方法按国家环保局规定的《水和废水分析方法》进行，可按表 10 编写。

表 10 监测项目的分析及检出下限

序号	监测项目	分析方法	检出下限	国标号
	PH 值	玻璃电极法		GB6920—1986
	CODcr	重铬酸盐氧化滴定法	5mg/L	GB11914—1989

...				
-----	--	--	--	--

②数据处理 监测结果的原始数据要根据有效数字的保留规则正确书写，监测数据的运算要遵循运算规则。在数据处理中，对出现的可疑数据，首先从技术上查明原因，然后再用统计检验处理，经经验验证后属离群数据应予剔除，以使测定结果更符合实际。

③分析结果的表示 可按表 11 对水质监测结果进行统计。

表 11 水质监测结果统计表

断面名称	污染因子	pH	SS	DO	COD _{Cr}	BOD ₅	NH ₃ -N	...
1	浓度/ (mg/L)							
	超标倍数							
2	浓度/ (mg/L)							
	超标倍数							
....								
标准值								

3.需用的仪器、试剂或材料等 (略)

4.实践步骤或环节 (见 2)

5.教学方式

学生完全自主设计实验时间、地点、步骤，列好所需仪器及试剂名称、规格、数量，并将实验设计书交给教师审阅，通过后领取所需仪器试剂进入实验室做实验。

实验报告一律用学校规定的实验报告本书写，报告内容应包括以下项目：

- (1) 实验题目；
- (2) 报告及同组人姓名；
- (3) 实验日期；
- (4) 实验目的；
- (5) 实验原理；
- (6) 实验仪器及试剂；
- (7) 实验步骤
- (8) 实验原始数据表格与记录；
- (9) 实验数据的整理 (包括计算数据及结果数据) 列表；
- (10) 实验结果 (可以图示法、列表法及经验式表示)；
- (11) 结论与思考题、误差分析。教学方式

实验十一 原子吸收分光光度法测定土壤中重金属镉

1. 实验目的

- 掌握土壤样品的采集和制备的基本技能。
- 了解原子吸收分光光度法的原理。
- 掌握土壤样品的消化方法，掌握原子吸收分光光度计的使用方法。

2. 实验原理

火焰原子吸收分光光度法是根据某元素的基态原子对该元素的特征谱线产生选择性吸收来进行测定的分析方法。试样喷入火焰中，被测元素在火焰中离解形成原子蒸汽，空心阴极灯发射的被测元素的特征谱线通过原子蒸汽层时，被测元素的基态原子选择吸收特征谱

线。在一定条件下特征谱线光强的变化与试样中被测元素的浓度成比例。通过测量自由基态原子对选用吸收线吸光度，确定试样中被测元素的浓度。

土壤样品用 $\text{HNO}_3\text{-HF-HClO}_4$ 或 $\text{HCl-HNO}_3\text{-HF-HClO}_4$ 混酸体系消化后，消化液直接喷入空气-乙炔火焰，火焰中形成的 Cd 基态原子蒸汽吸收光源发射的特征谱线。测得试液吸光度，并扣除空白吸光度，从标准曲线查得 Cd 含量。计算土壤中 Cd 含量。

3. 需用的仪器、试剂或材料

仪器：原子吸收分光光度计

试剂：镉标准系列溶液，含镉样品溶液。

4. 实验步骤

1) 标准曲线的绘制：吸取镉标准使用液 0、0.50、1.00、2.00、3.00、4.00ml 分别于 6 个 50ml 容量瓶中，用 0.2%硝酸溶液定容、摇匀。测其吸光度，绘制标准曲线。

2) 样品测定

(1) 标准曲线法：按绘制标准曲线条件测定试样溶液吸光度，扣除空白吸光度，从标准曲线中查得镉含量。

$$\text{镉 (mg/kg)} = \frac{m}{W}$$

式中：m---从标准曲线中查得镉含量(μg)；

W---称量土壤样品干重量(g)。

(2) 标准加入法：取试样溶液 5.0ml 分别于 4 个 10ml 容量瓶中，依次分别加入镉标准使用液 0、0.50、1.00、1.50ml，用 0.2%硝酸溶液定容，设试样溶液镉浓度为 c_x ，加标后试样浓度分别为 c_x+0 、 c_x+c_s 、 c_x+2c_s 、 c_x+3c_s ，测得之吸光度分别为 A_x 、 A_1 、 A_2 、 A_3 。绘制 A-C 图。外延曲线与横坐标相交，原点与交点的距离，即为待测镉离子的浓度。

$$\text{镉 (mg/kg)} = \frac{m}{W}$$

式中：m---从 A-C 图中查得镉含量(μg)；

W---称量土壤样品干重量(g)。

5. 教学方式

以学生操作为主，指导老师讲授，示范操作为辅，教师在实验过程中及时答疑。

实验报告一律用学校规定的实验报告本书写，报告内容应包括以下项目：

- (1) 实验题目；
- (2) 报告及同组人姓名；
- (3) 实验日期；
- (4) 实验目的；
- (5) 实验原理；
- (6) 实验仪器及试剂；
- (7) 实验步骤
- (8) 实验原始数据表格与记录；
- (9) 实验数据的整理（包括计算数据及结果数据）列表；
- (10) 实验结果（可以图示法、列表法及经验式表示）；
- (11) 结论与思考题、误差分析。

6. 实验数据及处理

1. 标准曲线法：

(1)、实验数据：

系列标准溶液测得吸光度 A 值

标准溶液浓度 ($\mu\text{g}/50\text{ml}$)	0.0	2.50	5.00	10.00	15.00	20.00
吸光度 (A)						

待测试样吸光度=

(2)、实验数据处理

①绘制镉标准曲线图:

②计算土壤试样中镉的含量:

2、标准加入法:

(1)、实验数据:

系列加标后溶液测得吸光度 A 值

溶液浓度	c_x+0	c_x+c_s	c_x+2c_s	c_x+3c_s
吸光度 (A)				

(2)、实验数据处理

①制镉 A-C 曲线图:

②算土壤试样中镉的含量:

六、实践教学中应注意的问题

1. 组织管理的要求:

- (1) 学生在实验前必须充分预习实验内容
- (2) 实验过程中必须认真细致地分析和记录实验现象与实验数据
- (3) 经实验老师允许后方可进行实验或离开实验室

2. 对教师的要求:

- (1) 在学生开始实验前讲授本次实验的原理与实验步骤
- (2) 指导学生进行实验, 解答学生提出的问题

3. 对学生的要求:

- (1) 实验前了解实验内容与目的
- (2) 可以自主设计设计步骤
- (3) 认真细致地进行实验, 观察记录实验现象与数据
- (4) 实验完成后, 整理好实验仪器
- (5) 实验后认真撰写实验报告, 并作为学生实验成绩评定的重要依据之一

4. 对教学基地、实验室和实验员的要求:

实验员应该在实验前对所需要的仪器进行调试检查, 以及准备需要的一切试剂, 保证实验正常进行。

七、教材及主要参考书

1、选用教材：

自编讲义

2、主要参考书：

- 1) 蒲恩奇 任爱玲主编，大气污染治理工程（第二版），高等教育出版社，2003年
- 2) 郭静 阮宜纶主编，大气污染控制工程，化工出版社，2001年
- 3) 张希衡等编《水污染控制工程》，北京：冶金工业出版社（2001）
- 4) 许保玖编著，《当代给水与废水处理原理》，高等教育出版社

八、教改说明及其他

无

执笔人：刘迎云、陈朝猛、张宇 **系室审核人：**吕俊文

5. 《环境工程实验 3》实验教学大纲

Experiments (III) for environmental engineering

课程编号: 0810010160332

课程类别: 独立开设实验课程

学时: 48 (总学时 48 实验学时 48) **学分:** 1.5

适用对象: 环境工程专业

先修课程: 无

一、课程的性质与任务

环境工程实验 3 是环境工程专业实验的选修部分,学生可以根据选修课程选择学分与学时(不一定必须修 1.5 学分),本课程主要包括的课程有“放射性辐射防护基础”与“噪声控制工程”等课程的实践教学部分,通过实验,可以加强学生对所学课程内容的感性认识,是学生对所学理论知识的验证和巩固,并初步掌握放射性环境、环境噪声的测试与监测方法,通过实验数据的整理还能使学生初步掌握数据分析处理技术,进行数据分析,理解课堂内容的实际应用。进而培养学生观察问题、分析问题和解决实际问题的能力与技能。

二、教学的目的与要求

1. 教学目的

- 1) 掌握实验所用仪器、设备的基本原理和使用方法。
- 2) 掌握所开实验的基本知识内容。
- 3) 熟练掌握实验的操作步骤。
- 4) 对实验数据进行处理、分析实验结果和书写实验报告。
- 5) 培养学生独立实验、设计实验方案和初步的创新能力。

2. 教学要求

- 1) 在实验课中,开课教师应向学生讲明该课程实验的教学要求、实验课安排和进度、实验考核方法、实验报告要求和实验室的管理要求。
- 2) 每次实验之前,学生必须对实验内容进行预习,作出预习报告方可进行实验。
- 3) 实验分组进行,在规定的学时内由学生本人独立操作,实验中学生应分工负责,指导教师负责解答实验过程中出现的各种问题和学生的疑问,引导学生掌握方法,教师不得包办代替。
- 4) 实验过程中,学生应认真记录实验数据,每次实验结果需经教师认可确认。

5) 任课教师要认真做好每次实验的准备工作, 实验过程中做好学生实验情况记录。

三、考核方式及办法:

实验成绩由实验过程中学生的表现和实际动手能力、撰写实验报告两部分构成

成绩评定: 实验态度: 10%, 实验操作: 60%, 实验报告: 30%

四、实验项目名称与学时分配:

《环境工程实验 3》项目一览表

序号	实验项目名称	学时分配	必开或选开	实验类型	分组人数	实验模块
1	水中微量铀的分析	2	必开	验证	5	环境类
2	空气氡浓度的监测	2	必开	验证	5	
3	环境 γ 贯穿剂量率的监测	2	必开	验证	4	
4	α 、 β 表面污染监测	2	必开	验证	4	
5	氡析出率的监测	4	必开	设计	4	
6	校院辐射环境监测	10	选开	设计	4	
7	工业企业现场机器噪声的测量	2	必开	验证	2	
8	生产环境(作业场所或车间)噪声的测量	2	必开	验证	2	
9	城市区域环境(交通)噪声的测量	2	必开	验证	2	

五、实验项目的具体类容:

实验一 水中微量铀的分析

1. 实验目的

通过本次实验, 要求学生能够掌握铀激光分析仪的操作; 掌握铀标准液的配制以及标准曲线的绘制, 掌握水样的预处理等方法。

2. 实践原理

1) 取湘江水样作为分析水样;

2) 直接向水中添加荧光增强剂, 使之与水中的铀酰离子生成一种简单的络合物, 在激光(波长 337nm) 辐射激发下产生荧光。采用标准铀加入法测定铀。

3. 需用的仪器、试剂或材料

仪器: 铀激光分析仪、微量注射器(50 μ L)、0.1mL 的玻璃移液管

试剂或材料: 荧光增强剂、铀标准贮备液(1mg/L)、硝酸(pH=2)

4. 实验步骤

1) 在湘江取水样;

2) 10 $\mu\text{g/mL}$ 的铀标准液的配制

取 1mL 铀标准贮备液, 用 pH=2 的硝酸稀释到 100mL;

3) 0.5 $\mu\text{g/mL}$ 的铀标准液的配制

取 5mL 10 $\mu\text{g/mL}$ 的铀标准液, 用 pH=2 的硝酸稀释到 100mL;

4) 0.1 $\mu\text{g/mL}$ 的铀标准液的配制

取 1mL 10 $\mu\text{g/mL}$ 的铀标准液, 用 pH=2 的硝酸稀释到 100mL;

5) 铀激光分析仪预热 10min 左右; 取 5ml 待测水样于石英比色皿内, 调节铀激光分析仪的补偿器旋钮至表读数为 0 (不为 0, 读数 N_0), 向样品增加 0.5ml 的荧光增强剂充分混匀, 测定荧光强度 N_1 , 再向样品内加 0.05mL 0.1 $\mu\text{g/L}$ 的铀标准液 (高档位用 0.51 $\mu\text{g/L}$), 混匀后, 测定荧光强度 N_2 。

6) 铀浓度的计算

$$c = \frac{(N_1 - N_0)c_1V_1K}{(N_2 - N_1)V_0R} \times 1000$$

C: 水样中铀的浓度, $\mu\text{g/L}$

N_0 : 样品中未添加荧光增强剂的读数;

N_1 : 添加了荧光增强剂后的样品读数;

N_2 : 样品加标准铀后的荧光强度的读数

C_1 : 加入标准铀的浓度; $\mu\text{g/mL}$

V_1 : 加入标准铀溶液的体积; mL

V_0 : 水样的体积;

K: 样品稀释倍数;

R: 全程回收率。

5. 教学方式

以学生操作为主, 指导老师讲授, 示范操作为辅, 教师在实验过程中及时答疑。

实验报告一律用学校规定的实验报告本书写, 报告内容应包括以下项目:

(1) 实验题目; (2) 报告及同组人姓名; (3) 实验日期; (4) 实验目的; (5) 实验原理; (6) 实验仪器及试剂; (7) 实验步骤 (8) 实验原始数据表格与记录; (9) 实验数据的整理 (包括计算数据及结果数据) 列表; (10) 实验结果 (可以图示法、列表法及经验式表示); (11) 结论与思考题、误差分析。

实验二 空气氡浓度的监测

1. 实验目的

掌握室内氡监测布点; 熟悉 RCM-2 氡连续监测仪的使用

2. 实验原理

1) 室内氡监测布点

布点原则：采样点位的数量根据室内面积大小和现场情况而定，原则上小于 50m³ 的房间应设 1~3 个点；50~100m³，应设 3~5 个点；100m³ 以上的至少设 5 个点。

布点方式：多点采样应按对角线或梅花式均匀布点，应避开通风口，离开墙壁距离应大于 0.5m，距门窗距离应大于 1m。

采样点的高度：一般相对高度为 0.5~1.5m。

封闭时间：监测应在对外门窗关闭 12h 后进行。

2) 室内氡监测数据的使用

需用的仪器、试剂或材料等

RCM-2 氡连续监测仪

3. 实验步骤

1) 在具备检测条件的房子里，选好监测位置，放设好仪器，并启动（如果检测时间长，人可以离开）；

2) 数据的提取

测量结束后（最好不要超过 24h，否则只有一个平均数据，不利于分析氡浓度随时间的变化），直接连接打印机打印数据，或关停仪器，以后再打。注意数据中第一个数据往往误差较大，剔除掉。

4. 教学方式

以学生操作为主，指导老师讲授，示范操作为辅，教师在实验过程中及时答疑。

实验报告一律用学校规定的实验报告本书写，报告内容应包括以下项目：

- (1) 实验题目；
- (2) 报告及同组人姓名；
- (3) 实验日期；
- (4) 实验目的；
- (5) 实验原理；
- (6) 实验仪器及试剂；
- (7) 实验步骤
- (8) 实验原始数据表格与记录；
- (9) 实验数据的整理（包括计算数据及结果数据）列表；
- (10) 实验结果（可以图示法、列表法及经验式表示）；
- (11) 结论与思考题、误差分析。

实验三 环境 γ 贯穿剂量率的监测

1. 实验目的

熟悉 BH3103A 便携式 X— γ 剂量率仪的使用；掌握公路（污染道路）的 γ 辐射剂量率监测布点方法与数据处理。

2. 实验原理

1) BH3103A 便携式 X— γ 剂量率仪的操作使用；

2) 公路（污染道路）的 γ 辐射剂量监测布点；

3) 监测数据的处理

4) 仪器原理：仪器由探头和操作台两部分组成，工作时两者有电缆连接。探头中的探测器由 ST-401 型塑料闪烁体和 ZnS (Ag) (硫化锌) 组成的复合闪烁体，当射线打到闪烁体

上,引起发光,光信号被 GDB52LD 光电倍增管转换电信号并倍增放大,在阳极输出该电信号,通过变换器把电信号变成计数频率,当辐射场较强时,单位时间形成的光电流就越大,因此,在空气中辐射剂量率与被测量的计数率就成正比。

3. 需用的仪器、试剂或材料

BH3103A 便携式 X— γ 剂量率仪、三脚架、皮尺

4. 实验步骤

1) BH3103A 便携式 X— γ 剂量率仪预热:装上电池后,测量前,应该开机预热 15min 以上,由于光电倍增管的稳定需要一定的时间;

2) X— γ 剂量率仪的检验:使用前,必须认真检查工作源的辐射剂量率是否和刻度值相同。

3) 测量:将探头放在三角架上,探头垂直对准测点,调整三脚架的高度使探头的质心距离地面 1m;人离探头一定距离,数据稳定后,读数,每个测点记录三个数据。

4) 数据处理:每个测点的平均值作为该点的数据,每个剖面所有测点的平均值为该剖面的数值。

5. 教学方式

以学生操作为主,指导老师讲授,示范操作为辅,教师在实验过程中及时答疑。

实验报告一律用学校规定的实验报告本书写,报告内容应包括以下项目:

- (1) 实验题目;
- (2) 报告及同组人姓名;
- (3) 实验日期;
- (4) 实验目的;
- (5) 实验原理;
- (6) 实验仪器及试剂;
- (7) 实验步骤
- (8) 实验原始数据表格与记录;
- (9) 实验数据的整理(包括计算数据及结果数据)列表;
- (10) 实验结果(可以图示法、列表法及经验式表示);
- (11) 结论与思考题、误差分析。

实验四 α 、 β 表面污染监测

1. 实验目的

掌握 α 、 β 表面污染监测布点,仪器的操作,数据的处理

2. 实验原理

对军工楼的 1 楼走廊进行的 α 、 β 表面污染监测。

原理:采用硫化锌——光电倍增管组成的探头,面积 50cm²,利用发射的 α 或 β 粒子碰撞到铝箔后,硫化锌闪光,光电倍增管把光信号变为电脉冲,一个粒子就有一次闪光,这样就可以记录下来闪光的次数,也就是发射多少粒子数。

表面污染计算:

$$q=N/(S \cdot t \cdot \eta)$$

q: 表面污染, Bq/cm²

N: 计数

t: 读数时间, s

S: 探头面积; cm²

η : 探头效率;

3. 需用的仪器、试剂或材料

FJ-2201 型表面污染监测仪

4. 实验步骤或环节

- 1) 打开仪器检测高压, 并预热
- 2) 关闭仪器, 按不同的探头连接, 重新启动仪器
- 3) 测量, 并记录

5. 教学方式

以学生操作为主, 指导老师讲授, 示范操作为辅, 教师在实验过程中及时答疑。

实验报告一律用学校规定的实验报告本书写, 报告内容应包括以下项目:

- (1) 实验题目;
- (2) 报告及同组人姓名;
- (3) 实验日期;
- (4) 实验目的;
- (5) 实验原理;
- (6) 实验仪器及试剂;
- (7) 实验步骤
- (8) 实验原始数据表格与记录;
- (9) 实验数据的整理 (包括计算数据及结果数据) 列表;
- (10) 实验结果 (可以图示法、列表法及经验式表示);
- (11) 结论与思考题、误差分析。

实验五 氡析出率的监测

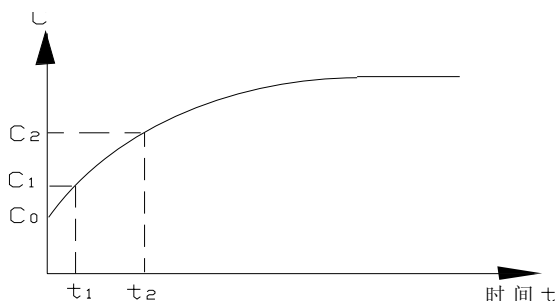
1. 实验目的

熟悉局部静态累积法测氡析出率的原理; 掌握局部静态累积法测氡析出率的操作; 掌握测量氡析出率的意义。

2. 实验原理

1) 局部静态累积法测氡析出率的原理

2) 在待测表面扣一个不透气、不吸氡、不溶氡材料制成的集氡罩 (50cm×50cm×8cm、或 25cm×25cm×10cm) 周边用不透气的材料密封。所扣表面析出的氡被集氡罩收集, 其浓度随时间增长, 最后达到平衡 (如图 1)。在集氡罩内的氡浓度呈线性增长的时间范围内, 取样并测量其浓度, 在计算待测表面的氡析出率。



如图 1, t_1 到 t_2 的浓度差是由于被罩表面这个时间差的氡析出引起的。因此可以测量这两个时间的浓度,

$$t_1 \text{ 时的浓度为: } C_{Rn1} = K1(n1_2 - n1_1)$$

$$t_2 \text{ 时的浓度为: } C_{Rn2} = K2(n2_2 - n2_1)$$

$$\Delta C = C_{Rn2} - C_{Rn1} = K2(n2_2 - n2_1) - K1(n1_2 - n1_1)$$

由于集氦罩的体积为 $S \times H$

所以集氦罩内氦的量的变化为: $\Delta C \times S \times H$

因此, 氦析出率:

$$J = \frac{\Delta C \times S \times H}{S \times (t_2 - t_1)} = \frac{K_2(n_{2_2} - n_{2_1}) - K_1(n_{1_2} - n_{1_1})}{t_2 - t_1} \times H$$

从图 1 可见, 我们可以取 t_0 时刻的浓度作为 t_1 的浓度, 此时的浓度实际上可以认为是空气氦浓度。则上式可变为

$$J = \frac{\Delta C \times S \times H}{S \times t} = \frac{K_2(n_{2_2} - n_{2_1}) - K_0(n_{0_2} - n_{0_1})}{t_2} \times H$$

当闪烁室的刻度系数相等时, 上式可变为

$$J = \frac{K[(n_{2_2} - n_{2_1}) - (n_{0_2} - n_{0_1})]}{t_2} \times H$$

3) 测氦析出率的布点与取样

必须布置再相对平整的地面、集氦罩罩住的地点不能是相对疏松的。

需用的仪器、试剂或材料等

闪烁室、463B 定标器、FD125 氦钍测量仪、集氦罩、真空泵、真空表、扩散器、干燥管、秒表、洗耳球、弹簧夹、橡皮管、干湿温度计、风表、气压计

3. 实验步骤

1) 准备

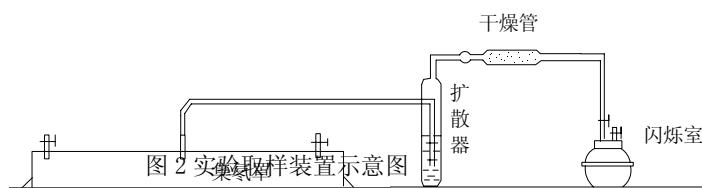
A、测量闪烁室本底

B、确定闪烁室的气密性、然后将闪烁室抽真空

2) 连接取样装置 (见图 2)

A、扣罩, 此时将集氦罩的管关死, 同时计时, 在集氦罩周边用粘性土密封。(注意扣罩前记录气温、湿度、大气压、风速)。

B、按图 2 连接仪器



3) 取样: 累积一定时间, 一般 5min, 如果氦析出率较高的, 则时间为 2min, 低的则为 7min, 取样, 转移到闪烁室的时间为 30s~60s (注意不能太快, 以免扩散器内的溶液冲入干燥管)。取样结束后, 拆卸仪器后, 用洗耳球排出干燥管与扩散器内的氦, 以备用。

4) 测量: 取样后, 闪烁室等待 3h 左右测量;

5) 计算: 按上述公式计算, 注意时间为累积时间+1/2 转移时间;

6) 清洗: 测量完立即用真空泵把闪烁室里的取样气体排掉, 并且经常换空气, 直至降到接近本底。

4. 教学方式

以学生操作为主，指导老师讲授，示范操作为辅，教师在实验过程中及时答疑。

实验报告一律用学校规定的实验报告本书写，报告内容应包括以下项目：

(1) 实验题目；(2) 报告及同组人姓名；(3) 实验日期；(4) 实验目的；(5) 实验原理；(6) 实验仪器及试剂；(7) 实验步骤(8) 实验原始数据表格与记录；(9) 实验数据的整理(包括计算数据及结果数据)列表；(10) 实验结果(可以图示法、列表法及经验式表示)；(11) 结论与思考题、误差分析。

实验六 南华大学校院辐射环境监测

1. 实验目的

1) 目的：

辐射环境监测的布点、监测频率；熟悉辐射环境监测方案的编写；掌握个人剂量与集体剂量的计算；熟悉监测与评价报告的编写；培养学生综合设计能力。

2) 要求：

资料收集，完成监测方案的编写；对监测方案进行答辩，答辩后，按老师的意见，修改好监测实施方案，以4人为一组按方案进行监测；检上交原始监测数据；编写监测与评价报告，并接受答辩。

2. 实验原理

1) 222-氡及222-氡子体、 γ 辐射剂量方法与监测操作

2) 编写监测方案

3) 计算个人剂量与集体剂量

4) 编写监测与评价报告

3. 需用的仪器、试剂或材料等

BH3103A 便携式X— γ 剂量率仪、DHZM-II型氡及其子体连续监测仪

4. 实验步骤或环节

1) 编制监测方案；

2) 监测方案答辩；

3) 按监测方案的要求进行布点监测；

4) 监测数据的整理；

5) 编写监测与评价报告

5. 教学方式

以学生操作为主，指导老师讲授，示范操作为辅，教师在实验过程中及时答疑。

监测与评价报告一律用学校规定的实验报告本书写，报告内容应包括以下项目：

1) 题目；(2) 报告及同组人姓名；(3) 监测日期；(4) 监测目的；(5) 监测布点图；(6) 实验仪器及试剂；(7) 监测步骤(8) 监测原始数据表格与记录；(9) 监测数据的整理(包括计算数据及结果数据)列表；(10) 监测、评价结论；(11) 建议。

实验七 工业企业现场机器噪声的测量

1. 实验目的

通过本次实验，要求学生能够掌握声级计以及频谱分析仪的使用方法和基本操作技能；掌握工业企业现场机器设备噪声、空气动力性噪声、管道（进出气口）等噪声的测量和要求；掌握测量数据的记录方法和数据处理方法等。

2. 实验原理

- 1) 选择有代表的工业企业现场（车间）；
- 2) 在该现场选择有代表的机械设备作为噪声源进行测量；
- 3) 测量 A 声级和作频谱分析；
- 4) 对该设备的噪声水平进行评价；

3. 需用的仪器、试剂或材料

声源现场（生产车间）、声级计及附件、频谱分析仪、声校准器等。

4. 实验步骤

- 1) 选择工业企业现场（生产车间）及其当中有代表性的设备（声音大的）作为被测声源，并绘制设备和测点位置图；
- 2) 关闭待测设备，测量车间内的背景噪声；
- 3) 启动待测设备，并使之按正常负荷运行；
- 4) 根据测量目的，在设备周围选择多个有代表性点，并在这些点上测量其 A 声级；
- 5) 选择所测的 A 声级最大的一点，并在该位置上作频谱分析；
- 6) 采用噪声测量记录进行规范记录
- 7) 进行设备噪声评价。

5. 教学方式

以学生操作为主，指导老师讲授，示范操作为辅，教师在实验过程中及时答疑。

实验报告一律用学校规定的实验报告本书写，报告内容应包括以下项目：

- (1) 实验题目；(2) 报告及同组人姓名；(3) 实验日期；(4) 实验目的；(5) 实验原理；(6) 实验仪器及试剂；(7) 实验步骤(8) 实验原始数据表格与记录；(9) 实验数据的整理(包括计算数据及结果数据)列表；(10) 实验结果(可以图示法、列表法及经验式表示)；(11) 结论与思考题、误差分析。

实验八 生产环境(作业场所或车间)噪声的测量

1. 实验目的

- 1) 掌握生产环境(作业场所或车间)噪声的测量方法；
- 2) 熟悉声级计等测量的使用方法；
- 3) 掌握生产环境(作业场所或车间)噪声级的评价方法。

2. 实验原理

- 1) 选择有代表的工业企业现场（车间）（不含脉冲噪声的场所）；
 - 2) 按《作业场所噪声测量规范》（WS/T69-1996）方法进行测量；
 - 3) 测量 A 声级和作频谱分析；
 - 4) 评价该作业现场的噪声级。
- 3、需用的仪器、试剂或材料
- 1) 声级计：用 I 型、II 型声级计或积分精密声级计；
 - 2) 倍频程滤波器：含中心频带为 31.5~8000Hz 九个倍频带滤波器；
 - 3) 声校准器
- 4、实验步骤
- 1) 测量条件
 - a. 测量应在正常工作情况下进行；
 - b. 作业场所风速超过 3m/s 时，应戴防风罩
 - c. 作业场所相对湿度超过 90%时，应使用特殊防潮传声器；
 - d. 测量时应远离磁场和电场。
 - 2) 实验步骤
 - a. 测点选择：测点应在工人工作地点

稳态噪声：若作业场所声场分布均匀，工作地点很多，一般选 3~5 个点；

非稳态噪声：若工作场所为起伏噪声，根据起伏幅度或变化规律相近的原则划分声级区，每个区域内，选 1 个测点。
 - b. 测量开始前，应先检查声级计的工作电压；
 - c. 按要求测量 A 声级和倍频程声压级；
 - d. 根据噪声情况，按不同的读数方法进行读数和记录；
 - e. 计算等效声级。
- * 注意事项：
- 选择的作业现场（车间）要求不含脉冲噪声。

5、教学方式

以学生操作为主，指导老师讲授，示范操作为辅，教师在实验过程中及时答疑。

- (1) 实验题目；(2) 报告及同组人姓名；(3) 实验日期；(4) 实验目的；(5) 实验原理；
- (6) 实验仪器及试剂；(7) 实验步骤 (8) 实验原始数据表格与记录；(9) 实验数据的整理（包括计算数据及结果数据）列表；(10) 实验结果（可以图示法、列表法及经验式表示）；
- (11) 结论与思考题、误差分析。

实验九 城市区域环境（交通）噪声的测量

1. 实验目的

交通噪声是目前城市环境噪声的主要噪声源，通过本实验以加深对交通噪声特征的了解，并掌握等效连续声级及累计百分数声级的概念

- 1) 掌握声级计的使用方法和环境噪声的监测技术；
- 2) 熟悉《城市区域环境噪声测量方法》（GB/T14623-93）；

3) 掌握环境噪声的评价方法。

2. 实验原理

- 1) 选择学校校园的几个（或全部）有代表的区域进行测量；
- 2) 按《城市区域环境噪声测量方法》（GB/T14623-93）方法进行测量；
- 3) 在一时间段内连续监测该区域噪声 A 声级；
- 4) 统计分析该区域噪声指标；
- 5) 绘制该区域分布图

3. 需用的仪器、试剂或材料

- 1) 声级计：用 I 型、II 型声级计或积分精密声级计；
- 2) 倍频程滤波器：含中心频带为 31.5~8000Hz 九个倍频带滤波器；
- 3) 记时器或秒表
- 4) 声校准器

4. 实验步骤

1) 测量条件

- a. 测量应在正常工作情况下进行；
- b. 作业场所风速超过 3m/s 时，应戴防风罩
- c. 作业场所相对湿度超过 90%时，应使用特殊防潮传声器；
- d. 测量时应远离磁场和电场。
- e. 传声器高度应当高于地面 1.5m。

2) 实验步骤

a. 将学校（或某一地区）划分为 20*20m 的网络，测量点选在每个网格的中心，若中心点的位置不宜测量，可移到旁边能够测量的位置，

b. 依次到各网点测量，时间从 8:00—17:00，每一网格至少测量四次，时间间隔尽可能相同。

c. 读数方式用慢挡，每隔 5 秒读一个瞬时 A 声级，连续取 200 个数据。读数同时要判断和记录附近主要噪声来源（如交通噪声、施工噪声、工厂或车间噪声、锅炉噪声……）和天气条件。

3) 数据处理

环境噪声是随时间而起伏的无规律噪声，因此测量结果一般用统计值或等效声级来表示，本实验用等效声级表示。

将各网点每一次的测量数据（200 个）顺序排列出 L_{10} 、 L_{50} 、 L_{90} ，求出等效声级 L_{eq} ，再由该网点一整天的各次 L_{eq} 值求出算术平均值，作为该网点的环境噪声评价量。

以 5dB 为一等级，用不同颜色或阴影线（见下表）某一地区噪声分布图：

噪声带	颜色	阴影线
-----	----	-----

35dB 以下	浅绿色	小点，低密度
36—40dB	绿色	中点，中密度
41—45dB	深绿色	大点，高密度
46—50dB	黄色	垂直线，低密度
51—55dB	褐色	垂直线，中密度
56—60dB	橙色	垂直线，高密度
61—65dB	朱红色	交叉线，低密度
66—70dB	洋红色	交叉线，中密度
71—75dB	紫红色	交叉线，高密度
76—80dB	蓝色	宽条垂直线
81—85dB	深蓝色	全黑

注意事项：

测量时排除突发性噪声对测量结果的影响。

5、教学方式

以学生操作为主，指导老师讲授，示范操作为辅，教师在实验过程中及时答疑。

实验报告一律用学校规定的实验报告本书写，报告内容应包括以下项目：

- (1) 实验题目；
- (2) 报告及同组人姓名；
- (3) 实验日期；
- (4) 实验目的；
- (5) 实验原理；
- (6) 实验仪器及试剂；
- (7) 实验步骤
- (8) 实验原始数据表格与记录；
- (9) 实验数据的整理（包括计算数据及结果数据）列表；
- (10) 实验结果（可以图示法、列表法及经验式表示）；
- (11) 结论与思考题、误差分析。

六、实践教学中应注意的问题

1. 组织管理的要求：

- (1) 学生在实验前必须充分预习实验内容
- (2) 实验过程中必须认真细致地分析和记录实验现象与实验数据
- (3) 经实验老师允许后方可进行实验或离开实验室

2. 对教师的要求：

- (1) 在学生开始实验前讲授本次实验的原理与实验步骤
- (2) 指导学生进行实验，解答学生提出的问题

3. 对学生的要求：

- (1) 实验前了解实验内容与目的
- (2) 可以自主设计设计步骤
- (3) 认真细致地进行实验，观察记录实验现象与数据
- (4) 实验完成后，整理好实验仪器
- (5) 实验后认真撰写实验报告，并作为学生实验成绩评定的重要依据之一

4. 对教学基地、实验室和实验员的要求:

实验员应该在实验前对所需要的仪器进行调试检查,以及准备需要的一切试剂,保证实验正常进行。

七、教材及主要参考书

1、选用教材:

自编教材

2、主要参考书:

- 1) 刘惠玲, 环境噪声控制, 哈尔滨工业大学出版社, 2002。
- 2) 方杰, 辐射防护导论, 原子能出版社, 1991
- 3) 郑长聚等, 环境噪声控制工程, 高教出版社, 1988
- 4) 环境噪声学, 浙江大学出版社, 2001
- 5) 马大猷, 噪声控制学, 科学出版社, 1987

八、教改说明及其他

执笔人: 吕俊文

系室审核人: 张晓文

6. 《热工流体实验 1、2、3》实验教学大纲

Thermal and fluid experiment 1、2、3

课程编号：0807040330212、0807040330222、0807040330232

课程类别：独立开设实验课程

学时：16 **学分：**0.5

适用对象：建筑环境与设备工程、热能与动力工程、安全工程

先修课程：工程热力学、流体力学、传热学

一、课程的性质与任务

热工流体实验是面向建筑环境与设备工程、热能与动力工程、安全工程等专业的一门专业基础课，为必修课程，考查科目，涉及流体力学、工程热力学、传热学等多门专业基础课的基本理论，以验证性综合性实验为主，包括流体力学实验、工程热力学实验、传热学实验等。热工流体实验主要是加强学生流体力学、工程热力学、传热学等专业基础课程中基本概念和理论的理解，同时让学生掌握本专业工程应用中基本参数的测量及相应的测量仪器设备的操作使用，培养学生发现问题、分析问题的能力和实验操作技能，为进一步学习专业实验打下基础。

二、教学的目的与要求

通过实验使学生初步具备运用所学的理论掌握计算工程力学、流体力学和传热问题的基本方法和实验技能，培养学生的科学态度和实验结果的分析、综合，书写实验报告的能力，培养学生的综合实践能力和动手能力，引导学生利用所学理论知识，分析和设计热工流体过程单元操作并独立完成实验，使学生热工流体规律有较全面的了解，进而全面提高学生的创新能力和综合素质。

三、考核方式及办法：

考核内容包括实验理论，操作技能，实验室安全等内容。考核标准根据学生实验报告、实验考勤和操作情况结合笔试分优秀、良好、中等、及格和不及格 5 个等级给出成绩。具体见本课程考试大纲。

四、实验项目名称与学时分配：

《热工流体实验 1》项目一览表

序号	实验项目名称	学时分配	必开或选开	所属实验模块	实验类型	分组人数
1	水静压强实验	0.5	必开	基础	验证	2
2	能量方程实验	0.5	必开	基础	验证	2
3	雷诺实验	0.5	必开	基础	验证	2
4	动量方程验证实验	0.5	必开	基础	验证	2
5	管道局部水头损失实验	0.5	必开	基础	验证	2
6	孔口与管嘴流量系数验证实验	0.5	必开	基础	验证	2
7	文丘里流量计及孔板流量计测定实验	0.5	必开	基础	综合	2
8	流线演示	0.5	必开	基础	验证	2

《热工流体实验 2》项目一览表

序号	实验项目名称	学时分配	必开或选开	所属实验模块	实验类型	分组人数
9	气体自由紊流射流实验	2	必开	基础	验证	2
10	气体定压比热测定	2	必开	基础	综合	2
11	饱和蒸汽 P-T 管线曲线测定	2	必开	基础	验证	2
12	二氧化碳 P、V、T 关系的测定	2	选开	基础	验证	2

《热工流体实验 3》项目一览表

序号	实验项目名称	学时分配	必开或选开	所属实验模块	实验类型	分组人数
13	喷管内气体流动特性实验	2	选开	基础	综合	2
14	圆球法测定颗粒状态的导热系数	2	必开	节能	验证	3
15	平板法测保温材料的导热系数	2	选开	节能	综合	3
16	空气纵掠平板对流换热系数的测定	2	必开	节能	综合	3
17	二维墙角温度场的电模拟	2	选开	节能	验证	2

五、实验项目的具体内容：

实验一 水静压强实验

本次实验的目的和要求：

- 1、加深理解流体静力学基本方程及等压面的概念。
- 2、理解封闭容器内静止液体表面压强及其液体内部某空间点的压强。

3、观察压强传递现象。

实践内容或原理：

对密封容器（即水箱）的液体表面加压时，设液体表面压强为 P_0 ，则 $P_0 > P_a$ ， p_a 为大气压强。从 U 形管中可以看到有压差产生，U 形管与密封水箱上部连通的一面，液面下降，而与大气相通的一面，液面上升。密闭水箱内液体表面压强 p_0 为：

$$p_0 = p_a + \gamma h$$

式中 γ ——液体的重度；

h ——U 形管中液面上升的高度。

当密闭水箱内压强 P_0 下降时，U 形管内的液面呈现相反的现象，即 $P_0 < P_a$ ，这时密闭水箱内液面压强 p_0 为：

$$p_0 = p_a - \gamma h$$

式中 h ——U 形管中液面下降的高度。

需用的仪器、试剂或材料等：

水静压强仪

实践步骤或环节

1. 关闭排气阀，用加压器缓慢加压，U 形管出现压差 Δh 。在加压的同时，观察左侧 A、B 管的液柱上升情况。由于水箱内部的压强向各个方向传递，在左侧的测压管中，可以看到由于 A、B 两点在水箱内的淹没深度 h 不同，在压强向各点传递时，先到 A 点后到 B 点。在测压管中反应出的是 A 管的液柱先上升，而 B 管的液柱滞后一点也在上升，当停止加压时，A、B 两点在同一水平面上。

2. 打开排气阀，使液面恢复到同一水平面上。关闭排气阀，打开密闭容器底部的水门，放出一部分水，造成容器内压力下降，观察 U 形管中液柱的变化情况。

实验二 能量（伯努利）方程实验

实验的目的和要求：

- 1、验证实际流体稳定流的能量方程；
- 2、通过对诸多动水水力现象的实验分析，理解能量转换特性；
- 3、掌握流速、流量、压强等水力要素的实验量测技能。

实践内容或原理：

对于不可压缩流体，在导管内作定常流动，系统与环境又无功的交换时，若以单位质量流体为衡算基准，则对确定的系统即可列出机械能衡算方程：

$$gZ_1 + \frac{u_1^2}{2} + \frac{p_1}{\rho} = gZ_2 + \frac{u_2^2}{2} + \frac{p_2}{\rho} + \sum h_f \quad (1)$$

若以单位重量流体为衡算基准时，则又可表达为

$$Z_1 + \frac{u_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} = Z_2 + \frac{u_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho g} + H_f \quad (2)$$

不可压缩流体的机械能衡算方程，应用于各种具体情况下的作适当的简化，例如：

(1) 当流体为理想液体时，于是式(1)和(2)可简化为

$$gZ_1 + \frac{u_1^2}{2} + \frac{p_1}{\rho} = gZ_2 + \frac{u_2^2}{2} + \frac{p_2}{\rho} \quad (3)$$

$$Z_1 + \frac{u_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} = Z_2 + \frac{u_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho g} \quad (4)$$

(2) 当液体流经的系统为一水平装置的管道时，则(1)和(2)式又可简化为

$$\frac{u_1^2}{2} + \frac{p_1}{\rho} = \frac{u_2^2}{2} + \frac{p_2}{\rho} + \sum h_f \quad (5)$$

$$Z_1 + \frac{u_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} = Z_2 + \frac{u_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho g} + \sum h_f \quad (6)$$

(3) 当流体处于静止状态时，则(1)和(2)式又可简化为

$$\frac{gZ_1}{g} + \frac{p_1}{\rho g} = \frac{gZ_2}{g} + \frac{p_2}{\rho g} \quad (7) \quad (8)$$

需用的仪器、试剂或材料等：

1. 自循环供水器； 2. 实验台； 3. 可控硅无级调速器； 4. 溢流板； 5. 稳水孔板； 6. 恒压水箱； 7. 测压计； 8. 滑动测量尺； 9. 测压管； 10. 实验管道； 11. 测压点； 12. 皮托管； 13. 实验流量调节阀

实践步骤或环节

实验前，先缓慢开启进水阀，将水充满稳压溢流水槽，并保持有适量流水流出，使槽内液面平稳不变，最后，设法排尽设备内的气泡。

1. 关闭实验导管出口调节阀，观察和测量液体处于静止状态下个测试点（a、b和c三点）的压强。
2. 开启实验导管出口调节阀，观察比较液体在流动情况下测试点的压头变化。
3. 缓慢开启实验导管的出口条件阀，测量流体在不同流量下的各测试点的静压头、动压头和损失压头。

实验过程中必须注意如下几点：

- (1) 实验前一定要将实验导管和测压管中的空气泡排除干净，否则会影响准确性。
- (2) 开启进水阀或调节阀时，一定要缓慢，并随时注意设备内的变化。
- (3) 实验过程中需根据测压管量程范围，确定最小和最大流量。
- (4) 为观察测压管的液柱高度，可在临实验测定前，向各测压管滴入几滴红墨水。

实验三 雷诺实验

实验的目的和要求：

观察液体在管道内流动状态—层流和紊流，并测定其下临界雷诺数。

实践内容或原理：

流体流动有两种不同的状态，层流和紊流，用雷诺数来判断流态，

$$R_e = \frac{vd}{\nu} = \frac{\rho vd}{\mu}$$

v ——液体在管道中的平均流速 (m/s)

d ——管道内径 (m)

ρ ——液体密度 (kg/m^3)

μ ——液体动力粘度 ($\text{Pc}\cdot\text{S}$)

ν ——液体运动粘度 (m^2/s)

需用的仪器、试剂或材料等：

1、雷诺试验议 2、秒表

实践步骤或环节

1、打开玻璃管出水阀，并打开颜色液体管道的开关，改变出水阀开度的大小，观察液体在玻璃管中的流动状态。

2、打开进水阀，使水箱进水，达到一定的水位，并保证有适当的溢流，使水箱内的水位平稳，在试验过程中，如出现水位变化时应调节进水阀确保水箱内水位稳定。

3、打开玻璃管出水阀（开度可小一点）然后打开颜色溶液橡皮管夹子，颜色溶液和水均匀地混合并沿玻璃管流出。

4、逐渐缓慢地关小玻璃管出水阀，直到颜色水变为一条可见的流线，此时即为紊流转变为层流的下临界雷诺数的情况，测量此时的流速和温度。

5、重复步骤(3)，(4)数次

注意：在开关阀门时，动作尽可能要缓慢，防止任何可能的振动，干扰。据。E(mV)

实验四 动量方程验证实验

实验的目的和要求：

1、通过射流对水箱的反作用力和射流对平板的作用力验证不可压缩流体定常流动的动量方程。

2、通过对动量与流量、流速、射流角度等因素的相关性分析，进一步掌握流体的动量守恒定理。

实践内容或原理：

1. 射流对水箱的反作用力原理

以水箱水面 I—I，出口断面 II—II 及箱壁为控制面，对水平 x 轴列动量方程：

$$\sum F_x = R_x = \rho Q(\alpha_{02}v_{2x} - \alpha_{01}v_{1x})$$

式中 R_x ——水箱对射流的反作用；

ρ ——水的密度；

Q ——射流流量；

α_{01}, α_{02} ——动量修正系数，取 1；

v_{1x} ——水箱水面的平均流速在 x 轴的投影，取 0；

v_{2x} ——出口断面的平均流速在 x 轴的投影。

由对转轴计算力矩 M 求得 R_x 。

$$M = R_x \cdot L = \rho Qv \cdot L$$

式中 L ——出口中心至转轴的距离；

v ——出口流速。

移动平衡砝码得到实测力矩 M_0 ：

$$M_0 = G \cdot \Delta S$$

式中 G ——平衡砝码重量；

ΔS —— $\Delta S = S - S_0$ ；

S ——出流时（动态）砝码至转轴的距离；

S_0 ——未出流时（静态）平衡砝码至转轴的距离。

2. 射流对平面的作用力原理

取喷嘴出口断面 I—I，射流表面，以及平板出流的截面 II—II 为控制面，对水平 x 轴列动量方程：

$$\sum F_x = R_x = \rho Q(\alpha_{02}v_{2x} - \alpha_{01}v_{1x})$$

式中 R_x ——平板对射流的反作用力；

v_{1x} ——喷嘴出口平均流速在轴的投影，即流速；

v_{2x} ——II—II 断面平均流速在 x 轴的投影，取 0。

由对转轴计算力矩 M 求得 R_x 。

$$M = R_x \cdot L_1 = \rho Q v \cdot L_1$$

式中 L_1 ——水流冲击点至转轴的距离；

v ——喷嘴出口的平均流速。

添加砝码得到实测力矩 M_0 ：

$$M_0 = G \cdot L_2$$

式中 G ——砝码重量；

L_2 ——砝码作用点到转轴的距离。

需用的仪器、试剂或材料等：

1. 实验水箱
2. 控制阀门
3. 高位水孔
4. 低位水孔
5. 砝码
6. 转动轴承
7. 挡板
8. 固定插销
9. 水平仪
10. 喷嘴
11. 水泵
12. 水箱
13. 挡水板
14. 实验台支架

实践步骤或环节

1. 射流对水箱的反作用力实验

1) 实验步骤

- ① 开启进水阀门，将水箱充满水，关小阀门，使之保持较小溢流。
- ② 拔出插销，移动砝码，使水平仪水平，记下此时（静态）砝码位置 S_0 。
- ③ 插上插销，将出口转至高孔位置。调节阀门，使之仍保持较小溢流。
- ④ 拔出插销，移动砝码，使水平仪水平，记下此时（动态）砝码的位置 S 。
- ⑤ 用体积法测量流量，计算流速。
- ⑥ 将出口转至低孔位置，重复步骤③~⑤。

2) 注意事项

- ① 调节前，必须将插销插上。
- ② 拔出插销后，应用手托扶水箱，以免摆动过大损坏仪器。

2. 射流对平面的作用力实验

1) 实验步骤

① 在拉链端部加重量 50 克砝码，然后开启并调节阀门，使平板保持垂直位置，记下砝码位置，用体积法测流量。

- ② 改变砝码重量，重复步骤①。

2) 注意事项

- ① 应缓慢开启和调节阀门。
- ② 注意单位换算。

实验五 管道局部水头损失实验

实验的目的和要求：

- 1、验证沿程水头损失与平均流速的关系。
- 2、测定不同管路的沿程阻力系数。
- 3、对照雷诺实验，观察层流和紊流两种流态及其转换过程。

实践内容或原理：

1. 沿程水头损失与流速的关系

对沿程阻力两测点的断面列伯努利方程

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{a_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{a_2 v_2^2}{2g} + h_l$$

因实验管段水平，且为均匀流动，所以

$$z_1 = z_2, d_1 = d_2, v_1 = v_2, \alpha_1 = \alpha_2 \approx 1, h_l = h_f$$

由此得

$$h_f = \frac{p_1}{\gamma} - \frac{p_2}{\gamma} = \Delta h$$

即管路两点的沿程水头损失 h_f 等于测压管水头差 Δh 。

由此式求得沿程水头损失，同时根据实测流量计算平均流速 v ，将所得 h_f 和 v 数据绘在对数坐标纸上，就可确定沿程水头损失与平均流速的关系。

2. 沿程阻力系数的测定

由上面的分析可以得到：

$$h_f = \frac{p_1}{\gamma} - \frac{p_2}{\gamma} = \Delta h$$

由达西公式：

$$h_f = \frac{\lambda \cdot l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

用体积法测得流量 Q ，并计算出断面平均流速 v ，即可求得沿程阻力系数 λ ：

$$\lambda = \frac{2gd\Delta h}{lv^2}$$

需用的仪器、试剂或材料等：

1. 水泵电机 2. 水泵 3. 循环储水箱 4. 计量水箱 5. 孔板及比托管实验管段进水阀 6. 阀门阻力实验管段进水阀 7. D=14mm 沿程阻力实验管段进水阀 8. D=14mm 沿程阻力实验管段 9. 阀门阻力实验管段 10. 孔板流量计 11. 比托管 12. 测阻阀门 13. 测压管及测压管固定板 14. D=14mm 沿程阻力实验管段出水阀 15. 阀门阻力实验管段出水阀 16. 孔板及比托管实验管段出水阀 17. 文丘里实验管段出水阀 18. D=10mm 沿程阻力实验管段出水阀 19. 管支架 20. D=10mm 沿程阻力实验管段 21. 文丘里流量计 22. 排水阀门

实践步骤或环节

1. 沿程水头损失与流速的关系实验

1) 实验前准备工作。将实验台个阀门置于关闭状态，开启实验管道阀门，将泵开启，检验系统是否有泄露；排放导压胶管中的空气。

2) 开启调节阀门，测读测压计水面差。

3) 用体积法测量流量，并计算出平均流速。

4) 将实验的 h_f 与计算得出的 v 值标入对数坐标纸内，绘出 $\lg h_f - \lg v$ 关系曲线。

5) 调节阀门逐次由大到小，共测定 10 次。

2. 沿程阻力系数的测定实验

1) 本实验共进行粗细不同管径的两组实验，每组各作出 6 个实验。

2) 开启进水阀门，使压差达到最大高度，作为第一个实验点。

3) 测读水柱高度，并计算高度差。

4) 用体积法测量流量，并测量水温；

5) 用不同符号将粗细管道的实验点绘制成 $\lg Re - \lg 100\lambda$ 对数曲线。

实验六 孔口与管嘴流量系数验证实验

实验的目的和要求：

1、了解孔口流动特征，测定孔口流速系数 φ 和流量系数 μ 。

2、了解管嘴内部压强分布特征，测定管嘴流量系数 μ 。

实践内容或原理：

当水流从孔口出流时，由于惯性的作用，水流在出孔口后有收缩现象，约在 $0.5d$ 处形成收缩断面 c-c。收缩断面 c-c 的面积 A_c 与孔口的面积 A 的比值 ε 称为收缩系数。应用能量方程可推得孔口流量计算公式如下

$$Q = \varepsilon \varphi A \sqrt{2gH} \quad \text{或} \quad Q = \mu A \sqrt{2gH}$$

式中， φ 为流速系数， μ 为流量系数， H 为孔口中心点以上的作用水头。已知收缩系数 ε 和流速系数 φ 或流量系数 μ 可求得孔口流量。本实验将根据实测的流量等数据测定流速系数 φ 或流量系数 μ 。

当水流经管嘴出流时，由于管嘴内部的收缩断面处产生真空，等于增加了作用水头，使

得管嘴的出流大于孔口出流。应用能量方程可推得管嘴流量计算公式如下

$$Q = \varphi_n A \sqrt{2gH} \quad \text{或} \quad Q = \mu_n A \sqrt{2gH}$$

式中， φ_n 为流速系数， μ_n 为流量系数， $\varphi_n = \mu_n$ ， H 为管嘴中心点以上的作用水头。已知流速系数 φ_n 或流量系数 μ_n 可求得管嘴流量。本实验将根据实测的流量等数据测定流速系数 φ_n 或流量系数 μ_n 。

根据系统理论和实验研究各系数有下列数值

$$\text{孔口} \quad \varepsilon = 0.63 \sim 0.64 \quad \varphi = 0.97 \sim 0.98 \quad \mu = 0.60 \sim 0.62$$

$$\text{管嘴} \quad \varphi_n = \mu_n = 0.82$$

由于收缩断面位置不易确定，以及观测误差等原因，本实验设备所测的数据只能逼近上述数据。

需用的仪器、试剂或材料等：

孔口管嘴实验仪

实践步骤或环节

1、熟悉仪器，记录孔口直径 $d_{\text{孔口}}$ 和管嘴直径 $d_{\text{管嘴}}$ ，记录孔口中心位置高程 $\nabla_{\text{孔口}}$ 和水箱液面高程 $\nabla_{\text{液面}}$ 。

2、启动抽水机，打开进水开关，使水进入水箱，并使水箱保持溢流，使水位恒定。

3、关闭孔口和管嘴，观测与管嘴相连的压差计液面是否与水箱水面齐平。若不平，则需排气调平。

4、打开管嘴，使其出流，压差计液面将改变，当流动稳定后，记录压差计各测压管液面，用体积法或电子流量计测量流量。

5、关闭管嘴，打开孔口，使其出流，当流动稳定后，用游标卡尺测量孔口收缩断面直径，用体积法或电子流量计测量流量。

实验七 文丘里流量计及孔板流量计测定实验

实验的目的和要求：

- 1、掌握文丘里流量计流量系数的意义，并测定其数值的大小；
- 2、掌握用测压管测压的方法；
- 3、绘制 $Q-\Delta h$ 曲线。

实践内容或原理：

根据伯努利方程和连续性方程式，可得文丘里管过水能力关系式：

$$Q_{\text{理}} = \frac{\pi/4}{\sqrt{\frac{1}{d_2^4} - \frac{1}{d_1^4}}} \sqrt{2g[(z_1 + \frac{p_1}{\gamma}) - (z_2 + \frac{p_2}{\gamma})]}$$

$$k = \frac{\pi / 4}{\sqrt{\frac{1}{d_2^4} - \frac{1}{d_1^4}}} \sqrt{2g}$$

令 k 为结构系数， d_1, d_2 分别为文丘里管入口断面和喉部断面的直径。

$$\left[\left(z_1 + \frac{p_1}{\gamma} \right) - \left(z_2 + \frac{p_2}{\gamma} \right) \right]$$

为文丘里管入口断面和喉部断面的测压管水头差，等于 $\Delta h = h_{19} - h_{20}$ ，所以有：

$$Q_{理} = K \sqrt{\Delta h}$$

由于实际流体流动时存在阻力，故实际流量 $Q_{实}$ 恒小于理论流量 $Q_{理}$ ，引入一个无量纲系数 μ 对计算流量修正。

$$\mu = \frac{Q_{实}}{Q_{理}} \quad \text{流量系数}$$

需用的仪器、试剂或材料等：

水泵、上水管及阀门、阀门、文丘里流量计。

实践步骤或环节

- 1、关闭阀 1，全开阀 2，打开水泵电源；
- 2、排空测压管 19、20 内空气（液面应一样高）；
- 3、缓慢打开阀 1（防止液面冲高，溢出测压管。），观察测压管 19、20 液面逐渐上升到一定高度；
- 4、稳定后读取并记录测压管 19、20 液面数值；
- 5、继续开大阀 1，重复步骤 3、4，共做 7-9 次；
- 6、结束实验，关水泵、阀门。

注意：测压管 19、20 液面各个高度应在便于观察的范围内。

实验八 流线演示

实验的目的和要求：

- 1、通过演示进一步理解液体流动的流线及流线的基本特征。
- 2、观察液体流经不同固体边界时的流动现象。

实践内容或原理：

流场中液体质点的运动状态，可以用流线或迹线来描述，流线是在某一瞬时由无数液体质点组成的一条光滑曲线，在该曲线上任意一点的切线方向为该点的流速方向，迹线是某一质点在某一时段内运动的轨迹。在流谱仪中，用酚兰显示液(电化学法)。借助电极对化学液体的作用。通过狭缝式流道组成流场，来显示出液体质点的运动状态，这些色线显示了同一

瞬时内无数有色液体质点的流动方向，整个流场内的“流线谱”形象地描绘了液流的流动趋势，当这些色线经过各种形状的固体边界时，可以清晰地反映出流线的特性及性质。

需用的仪器、试剂或材料等：

- 1、显示板；
- 2、狭缝过流道；
- 3、橡皮塞；
- 4、显示液；
- 5、止水夹；
- 6、小水泵

实践步骤或环节

1、熟悉演示设备后，将电源插头接入 220V 电源，此时灯光亮，水泵启动并驱动狭缝流道内的液体流动。

2、调节控制水夹，改变流速以达到最佳显示效果。

3、待整个显示流谱稳定后，观察分析流场内流动情况及流线特征。

4、演示结束切断电源，拔下电源插头。

实验九 气体自由紊流射流实验

实验的目的和要求：

通过紊流不同断面流速分布的测量，加深对紊流射流运动的理解。

实践内容或原理：

射流是指从孔口或缝隙处喷出，断面具有有限尺度的一股流体称为射流。射流从孔口或缝隙喷出后有一个突出的性能，就是卷吸作用。射流的运动形状分为层流型或紊流型。

1、射流自孔口出口以均匀的流速射入静止的环境中。射流的边界线的延长线交于 E 点。此点称为极点，其交角为 2θ ， θ 为扩散角。

2、从孔口起直至势流核消失的断面叫做射流的起始段，起始段以后的断面叫主体段，主体段内各横断面纵向的流速分布有明显的相似性，用无量纲形式整理实验结果，可得到半经验公式

$$V/V_m = (1 - (Y/Y_a)^{1.5})^3$$

上式既适用于圆射流，也适用于扁射流。式中：

V—所测断面上某测点的速度

V_m —所测断面中心流速

Y—所测断面上某测点距射流轴线的距离

Y_a —所测断面射流半宽度

速度 V 和 V_m 可以用下式计算

$$V = \Phi \sqrt{2g(\rho_1/\rho_2)\cos\alpha\Delta h}$$

式中 V—测点速度

Φ —毕托管修正系数

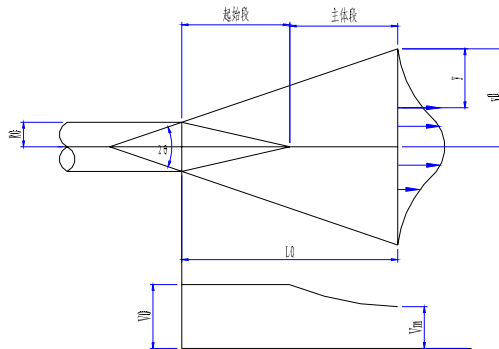
g—重力加速度

ρ_1 —压力计内液体的密度

ρ_2 —所测介质的密度

α —测压管与铅垂方向的夹角

Δh —所测压差



图十一 射流轴对称示意图

从图中可以看出 $Y_0 = R_0 + x \tan \theta$

对扁喷嘴来说 $Y_0 = b_0/2 + x \tan \theta$

式中: R_0 —喷嘴半径 15mm

b_0 —扁形喷嘴宽度 7mm

θ —扩散角

$\tan \theta = a \Phi_{mp}$

对圆喷嘴: $\Phi_{mp} = 3.4$ $a = 0.07$

对扁喷嘴: $\Phi_{mp} = 2.44$ $a = 0.01 - 0.11$

需用的仪器、试剂或材料等:

- 1、稳压箱 2、喷嘴 3、毕托管 4、纵向标尺 5、横向标尺

实践步骤或环节

按实验内容进行准备,

检查实验设备是否调整好,

测压计的水平泡是否居中,并根据实验内容确定测压计量程,测量气温和大气压,实验完毕应及时停机。

六、实验结果和计算

1、求 θ 角

根据射流的性质,在边界外、其总压就等于外界大气压,根据这个特点,先在距喷嘴 x_1 处先取一点,毕托管由喷嘴轴线处慢慢地向外移动,直到毕托管总压等于外界大气压时记下 y_1 填入表中,再在距喷嘴 x_2 处选取一点,用同样方法记下 y_2 填入表中,通过计算即可得到所要求的 θ 角。

X1	Y1	X2	Y2	Δx	Δy	θ	θ 理

--	--	--	--	--	--	--	--

表中： $\Delta x=x_2-x_1$ ； $\Delta y=y_2-y_1$

$$\theta_{\text{测}}=\arctg |\Delta y| / |\Delta x|$$

$$\theta_{\text{理}}=\arctg a \Phi_{\text{mp}}$$

2、 求 L_0

根据射流起始段的特点，将毕托管放在喷嘴出口处的轴线上，记下出口处气流的总压和静压差，然后将毕托管沿轴线移动，直至毕托管总静压差发生变化为止，则毕托管移动的距离为 L_0 测。

$$L_{0\text{理}}=1.7R_0/\text{tg } \theta$$

3、 求 V_m 的分布

将毕托管置于喷嘴出口处的轴线上，沿着轴线移动毕托管，每移动一次将毕托管距喷嘴的距离记入表中，并记下每次所测的毕托管总静压，重复上述过程直至实验做完。

V_m 的分布表

序号	x					

表中： $V_m = \sqrt{2RT\Delta H_{\text{总}}/P}$

$$V_{m\text{理}}=V_0 (2.7/(1+x\text{tg } \theta /R_0))$$

4、 求某断面速度 V 的分布

将毕托管置于距喷嘴 x 处的轴线上，逐次沿着离开轴线的法线方向移动毕托管，并记下离轴线的距离 Y 和毕托管所测出的静压填入表中，通过计算即可整理出 V 的分布。（考虑射流的对称性，因此实验时只测量半边）

距喷嘴 $X=$ 处断面的 V 的分布

序号	Y	$\Delta h^{\#}$	$\Delta h_{\text{静}}$	$\Delta h_{\text{总}}$	V 测	V 算

表中： $V_{\text{测}} = \sqrt{2RT\Delta h_{\text{总}}/P}$

$$V_{\text{算}}=V_m (1 - (Y/Y_0)^{1.5})^{0.2}$$

实验十 气体定压比热测定

实验的目的和要求：

1. 了解气体比热测定装置的基本原理和构思。
2. 熟悉本实验中的测温、测压、测热、测流量的方法。
3. 掌握由基本数据计算出比热值和求得比热公式的方法。
4. 分析本实验产生误差的原因及减小误差的可能途径。

需用的仪器、试剂或材料等：

湿式流量计、气压表、干湿球温度计、鼓风机、热电偶、水银温度计、U型压力计、比热仪主体、电功率调节
直流电压表、直流电流表、UJ36 电位差计、铜康铜热电偶、冰及保温杯、交流稳压电源

1. 实践步骤或环节

1. 接通电源及测量仪表，选择所需的出口温度计插入混流网的凹槽中。
2. 摘下流量计上的温度计，开动风机，调节节流阀，使流量保持在额定值附近。测出流量计出口空气的干球温度 (t_0) 和湿球温度 (t_w)。3. 将温度计插回流量计，调节流量，使它保持在额定值附近。逐渐提高电压，使出口温度升高至预计温度[可以根据下式预先估计所需电功率： $W \approx 12\Delta t / \tau$ 。式中 W 为电功率 (瓦)； Δt 为进出口温度差 ($^{\circ}\text{C}$)； τ 为每流过 10 升空气所需时间 (秒)]。
4. 待出口温度稳定后 (出口温度在 10 分钟之内无变化或有微小起伏，即可视为稳定)，读出下列数据：每 10 升气体通过流量计所需时间 (τ , 秒)；比热仪进口温度 (t_1 , $^{\circ}\text{C}$) 和出口温度 (t_2 , $^{\circ}\text{C}$)；当时大气压力 (B , 毫米汞柱) 和流量计出口处的表压 (Δh , 毫米水柱)；电热器的电压 (V , 伏) 和电流 (I , 毫安)。
5. 据流量计出口空气的干球温度和湿球温度，从湿空气的焓湿图查出含湿量 (d , 克/公斤干空气)，并计算出水蒸汽的容积成分 γ_w 。
6. 电热器消耗的功率可由电压和电流的乘积计算，但要考虑电表的内耗。如果伏特表和毫安表采用图一所示的接法，则应扣除毫安表的内耗。设毫安表的内阻为 R_{mA} 欧，则可得电热器单位时间放出的热量为 Q_p' 。
7. 水蒸气 and 干空气质量流量的计算，可按理想气体处理。

实验十一 气饱和蒸汽 P-T 管线曲线测定

实验的目的和要求：

- 1、通过观察饱和蒸汽压力和温度变化的关系，加深对饱和状态的理解，从而树立液体温度达到对应于液面压力的饱和温度时，沸腾便会发生的基本概念。
- 2、通过对实验数据的整理，掌握饱和蒸汽 P—T 关系图表的编制方法。
- 3、学会温度计、压力表、调压器和大气压力计等仪表的使用方法。
- 4、能观察到小容积和金属表面很光滑 (汽化核心很小) 的饱和沸腾现象。
- 5、掌握压力表的检验校正方法。

需用的仪器、试剂或材料等：

- 1、压力表 ($-0.1 \sim 0 \sim 1.5\text{Ma}$)
 - 2、排气阀
 - 3、缓冲器
 - 4、可视玻璃及蒸汽发生器
 - 5、电源开关
 - 6、电功率调节
 - 7、温度计 ($100 \sim 250^{\circ}\text{C}$)
 - 8、可控数显温度仪
 - 9、电流表
- 实践步骤或环节

- 1、熟悉实验装置及使用仪表的工作原理和性能。

- 2、将电功率调节器调节至电流表零位，然后接通电源。
- 3、调节电功率调节器，并缓慢逐渐加大电流，待蒸汽压力升至一定值时，将电流降低 0.2 安培左右保温，待工况稳定后迅速记录下水蒸气的压力和温度。重复上述实验，在 0~1.0Ma（表压）范围内实验不少于 6 次，且实验点应尽量分布均匀。
- 4 实验完毕后，将调压指针旋回零位，并断开电源。

实验十二 二氧化碳 P、V、T 关系的测定

1. 实验的目的和要求：

1. 了解 CO₂ 临界状态的观测方法，增加对临界状态概念的感性认识。
2. 加深对课堂所讲的工质的热力状态、凝结、汽化、饱和状态等基本概念的理解。
3. 掌握 CO₂ 的 p-v-t 关系的测定方法学会用实际气体状态变化规律方法和技巧。
4. 学会活塞式压力计、恒温器等部分热工仪器的正确方法。

2. 需用的仪器、试剂或材料等：

- 1、恒温水浴、2、试验台本体、3、压力台

3. 实践步骤或环节

1. 按图一装好设备，并开启试验本体上的日光灯。
2. 使用恒温器调定温度

(1) 将蒸馏水注入恒温器内，注至 30~50mm 为止。检查并接通电路，开动电动泵，使水循环对流。

(2) 旋转点接点温度计顶端的帽形磁铁调凸凸轮示标使凸上端面与所要调定的温度一致，要将帽形磁铁用横向螺钉锁紧，以防转动。

(3) 视水温情况，开、关加热器，当水温未达到调定的温度时，恒温器指示灯是亮的，当指示灯时亮时灭闪动时，说明温度已达到所需恒温。

(4) 观察玻璃水套上两支温度计，若其读数相同且与恒温器上的温度计及点接点温度计标定的温度一致时（或基本一致）则可（近似）认为承压玻璃管内的 CO₂ 的温度处于所标定的温度。

(5) 当需要改变试验温度时重复（2）~（4）即可。

3. 加压前的准备

因为压力台的油缸容量比主容器容量小，需要多次从油缸里抽油，再向主容器内充油，才能在压力表显示压力读数。压力台抽油、充油的操作过程非常重要，若操作失误，不但加不上压力还会损坏试验设备，所以务必认真掌握，其步骤如下：

- (1) 压力表及其入本体油路的两个阀门，开启压力台上油杯的进油阀。
- (2) 摇退压力台上的活塞螺杆，直至全部退出，这时压力台油缸中抽满了油。
- (3) 先关闭油杯阀门，然后开启压力表和进入本体油路的两个阀门。
- (4) 摇进活塞螺杆，经本体充油，如此交复，直至压力表上有压力读数为止。

(5) 再次检查油杯阀门是否关好，压力表及本体油路阀门是否开启，若均已稳定即可进行实验。

实验十三 喷管内气体流动特性实验

实验的目的和要求：

- 1、在不同背压的条件下，测定渐缩喷管和缩放喷管中气体压力变化情况，流量随背压变化的关系，确定喷管的临界压力比。
- 2、了解气体在喷管流动中的膨胀不足和膨胀过度现象及其对喷管工作的影响。

需用的仪器、试剂或材料等：

1、孔板流量计 2、可动真空表 3、背压真空表 4、U型管压力计 5、测压针 6、支架 7、支架 8、进气管 9、喷管 10、真空泵

实践步骤或环节

- 1、装好渐缩形喷管，调节函数记录仪的 X、Y 量程，使之处于合适位置。
- 2、接通电源，调节背压，在其大于、等于和小于临界压力等不同工况下，转动探针移动机构的手轮，在探针从喷管进口逐步移到喷管出口的过程中，由函数记录仪测取压力一位移曲线。读取和记录下列数据。
- 3、换上缩放形喷管，重复上述工作。

实验十四 圆球法测定颗粒状态的导热系数

实验的目的和要求：

- 1、了解材料导热系数的通用测量方法；
- 2、掌握用球垒法测量粒状材料的导热系数
- 3、懂得材料的导热系数在一定温度范围内，随温度变化的关系式

实践内容或原理：

付里叶定律应用于球体稳定导热时其热流量：

$$Q = -\lambda F \frac{dt}{dr} = \lambda 4\pi r^2 \frac{dt}{dr} \quad (W) \quad (1)$$

实验证明，当温度变化范围不大时，对绝大多数工程材料的导热系数与温度的关系，可以近似地认为是直线关系。

$$\lambda = \lambda_0(1 + \beta t_m) \quad (2)$$

将 (2) 代入 (1)

$$Q = -\lambda_0(1 + \beta t_m) 4\pi r^2 \frac{dt}{dr}$$

通过分离变量

$$Q = \frac{2\pi\lambda(t_{1\text{均}} - t_{2\text{均}})}{\frac{1}{d_1} - \frac{1}{d_2}} \quad (W) \quad (3)$$

$$\lambda = \frac{Q\left(\frac{1}{d_1} - \frac{1}{d_2}\right)}{2\pi(t_{1\text{均}} - t_{2\text{均}})} \quad (W / m \cdot ^\circ C) \quad (4)$$

式中 $t_m = (t_{1\text{均}} + t_{2\text{均}}) / 2$

d_1 、 d_2 —分别为内球壳的外径和外球壳的内径 (m)

$t_{1\text{均}}$ 、 $t_{2\text{均}}$ —内、外球表面平均温度 ($^\circ C$)

λ —材料的导热系数 ($W / m \cdot ^\circ C$)

Q —热流量 $Q = IV$ (W)

β —由实验确定的常数

λ_0 —材料在 $0^\circ C$ 时的导热系数 ($W / m \cdot ^\circ C$)

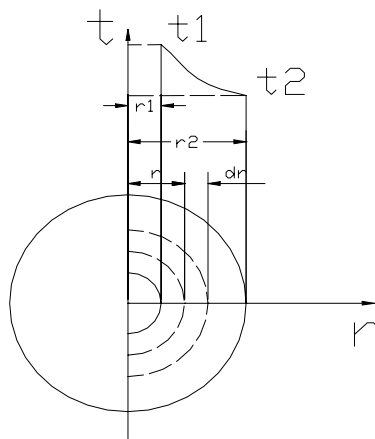
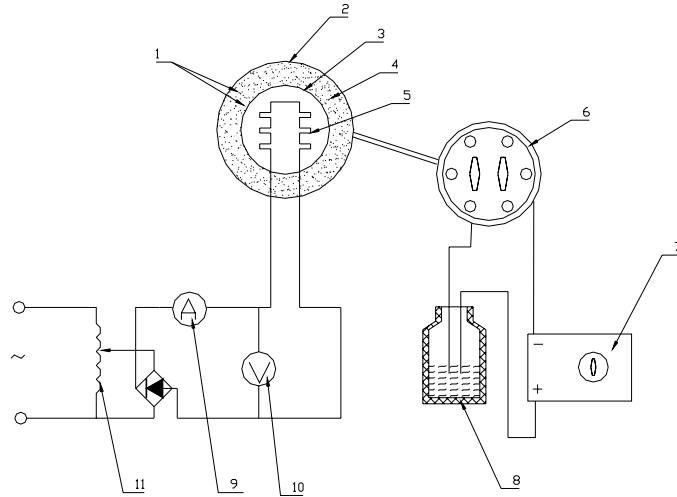


图 1 球壁导热过程

由式(4)可知,只要在球壁内维持一维稳定温度场,测出它的直径 d_1 、 d_2 、和 $t_{1\text{均}}$ 、 $t_{2\text{均}}$

以及导热量 Q 的值,则可由(4)式求出温度,以及 $t_m = \frac{t_{1\text{均}} + t_{2\text{均}}}{2}$ 时材料的导热系数。

为了求得 λ 和 t 的依变关系，则必须测定不同 t_m 下的 λ_m 之值，从而求出 (2) 式中的 λ_0 和 β 值。



需用的仪器、试剂或材料等：

直流电压表、直流电流表、UJ36 电位差计、铜康铜热电偶、冰及保温杯、交流稳压电源

实践步骤或环节

- 1、取样。采取四分法进行取样。
- 2、将试样放到设定温度在 $105^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 的干燥箱干燥 45 分钟。
- 3、先将所用测量的球体导热仪内装好待测物料（要松紧均匀，物料要干燥）。
- 4、将测量所用的仪表：电流表、电压表、电位差计及调压器按图连接好，经指导老师同意后，即可通电加热。
- 5、用调压器将电压调至一定值，保持不变，经一段时间后（从开始加热算起大约需几个小时，它取决于球壁尺寸及试样导热性能）。待内外球壁上各点温度为一定值，即球壁导热过程达到稳定后记录各点温度及电热器的电流与电压。
- 6、改变电加热器的电压（调节调压器），即改变热量使之维持在另一个数值上，当球壁上各点温度达到新的稳定状态后，重复第 3 项的测量。
- 7、实验完毕，切断电源，整理好仪器和实验用具。

实验十五 平板法测保温材料的导热系数

实验的目的和要求：

- 1、掌握用平板导热仪快速测量保温材料的导热系数。
- 2、掌握使用测量热流确定保温材料的导热系数。
- 3、学习使用热电偶测温差的方法。

实践内容或原理:

导热系数是表征材料导热能力的物理量。对于不同的材料,导热系数是不同的;对同一材料,导热系数还会随着温度、压力、湿度、物质的结构和重度等因素而变异。各种材料的导热系数都用试验方法来测定,如果要分别考虑因素的影响,就需要针对各种因素加以试验,往往不能只在一种试验设备上进行。稳态平板法是一种应用一维稳态导热过程的基本原理来测定材料导热系数的方法,可以用来进行导热系数的测定试验,测定材料的导热系数及其和温度的关系。试验设备是根据在一维稳态情况下通过平板的导热量 Q 和平板两面的温差 t Δ 成正比,和平板的厚度 δ 成正比,以及和导热系数 λ 成正比的关系来设计的。

我们知道,通过薄壁平板(壁厚小于十分之一壁长和壁宽)的稳定导热量为 $Q = \frac{\lambda}{\delta} \cdot \Delta t \cdot F$ [w] 测定时,如果将平板两面的温差 $\Delta t = t_R - t_L$, 平板厚度 δ 、垂直热流方向的导热面积 F 和通过平板的热流量 Q 测定以后,就可以根据下式得出导热系数:

$$\lambda = \frac{Q \cdot \delta}{\Delta t \cdot F} \quad \text{w}/(\text{m} \cdot \text{C})$$

需用的仪器、试剂或材料等:

数据采集卡、铜康铜热电偶、热流计、恒温箱、水银温度计、游标卡尺、2米卷尺

实践步骤或环节

- (1) 用卡尺测试件的尺寸、面积 F 、厚度 δ 。
- (2) 按图 2 放好试件、加热器和热电偶,接好电源,接通稳压器,预热电源十分钟(注:此时开关 K 是打开的)。
- (3) 校对电位差计的工作电流,将测量转换开关转至“未知 1”,测出试件在加热前的温度,此温度应等于室温。再将测量转换开关转到“未知 2”,测出温差,此值应为零热电势,差值最大不得超过 $4\mu V$,即相应温度差不得超过 0.1°C 。
- (4) 接通加热器开关 K ,给加热器通以恒定电流,(实验过程中,电流不允许变化,此数值事先经实验确定),同时启动秒表,每隔一分钟测出未知 2 端热电势的毫伏数,经一段时间后(随所测材料而不同,一般在 $10 \sim 20$ 分钟)系统进入准稳态,未知 2 端热电势的数值保持不变,此即(7-7)式中的温差 Δt ,记录下电流值。
- (5) 第一次实验结束,将加热器开关 K 切断,取下试件及加热器,用电扇将加热器吹凉,待与室温平衡后,才能继续实验。试件不能连续做实验,必须经过四个小时以上的放置,与室温平衡后才能进行下一次实验。
- (6) 实验全部结束必须断开电源,一切恢复原状,整理好仪器和实验用具。

实验十六 空气纵掠平板对流换热系数的测定

实验的目的和要求:

1. 了解试验装置,掌握空气纵掠平板时的局部换热系数,温度边界层和速度边界层的测试方法。
2. 测定空气纵掠平板时的局部换热系数和流动边界层内的温度分布,速度分布。

3. 对实验数据进行处理，了解空气纵掠平板时的对流换热规律。
4. 学会倾斜微压计的使用。
5. 管道内风压的测量。

实践内容或原理:

实验的基本原理，是将一平板试件纵向插入试验段风道中，平板试件表面包覆一薄层不锈钢片，不锈钢片同以恒定的电流时，其表面具有恒定的热流密度。当速度为 V 的空气流纵向掠过平板时，平板表面沿板长方向对流换热系数不同，其表面温度也不同。测出各处表面温度的变化，就可确定表面对流换热系数的大小。

在恒热流密度条件下，平板壁温沿板长变化，因此，存在纵向导热。同时，壁温不同，向外界辐射散热也不同。平板局部换热系数应考虑纵向导热和辐射换热的影响。

由于不锈钢片很薄，工作温度也不高，纵向导热。辐射换热所占比例很小，可以忽略不计。对于一般教学实验，对流换热系数可按下式计算：

$$\alpha_x = \frac{UI}{2bL(T - T_f)}$$

定性温度取来流温度 T_f 与平均壁温 \bar{T} 的平均值

$$T_m = \frac{1}{2}(\bar{T} + T_f)$$

$$\bar{T} = \frac{1}{2}(T_{\max} + T_{\min})$$

根据对流换热的分析，稳定受迫对流时的换热规律可用下列准则关系式来表示：

$$Nu = f(Re \cdot Pr) \quad (1)$$

对于空气、温度变化范围又不大，上式中的普朗数 Pr 变化很小，可作为常数看待，故(1)式简化为：

$$Nu = f(Re) \quad (2)$$

努谢尔特数 $Nu = \frac{\alpha D}{\lambda} \quad (3)$

雷诺数 $Re = \frac{uD}{\nu} \quad (4)$

其中： α — 空气横掠单管时的平均换热系数， ($W/m \cdot ^\circ C$)

u — 来流空气的速度， (m/s)

D — 定型尺寸，取管子的外径， (m)

λ — 空气的导热系数， ($W/m \cdot ^\circ C$)

ν — 空气的运动粘度， (m^2/s)

要通过实验确定空气掠过平板时的 Nu 与 Re 的关系，就需要测定不同流速 u 及该条件下的换热系数 α 的变化。

需用的仪器、试剂或材料等:

1.5KW 硅整流低压直流电源、UJ—36 型电位差计、Y—61 型倾斜式微压计、分压箱，转换开关，毕托管等配件。

实践步骤或环节

在实验管所处风道中装有毕托管 7，通过倾斜式微压计 8 测出试验段中空气来流压力头 Δh 毫米水柱，然后计算空气来流的速度 u 。

为了准确测定试管上的热功率，并排除管子两端的影响，在离管端一定距离处焊有二电测点间试验段内的电压降 $U = T \times U' \times 10^{-3}$ (伏特)，其中 T 为分电箱倍率 $T = 20I U'$ — 电流流过试件 a—b 间的电压降经过分压箱后测得的值 (毫伏)

试验管的电路中串联了一标准电阻 13，电流流过标准电阻时的电压降 ΔV ，经转换开关 10 和电位差计 11 测量然后确定流过试验管的工作电流 I ， $I = 2 \times \Delta V$ (A)，因为标准电阻标定 150/75mv。所以测得标准电阻 13 上每 1mv 电压降等于 2A 的电流流过。

空气流的温度 t_f 用水银温度计测量。

为了确定试验管壁的温度 t_w ，在试验管上埋设一铜—康铜热电偶，而其冷端 9 则置于气流中以使测量系统简化，即热端所处温度为管内壁温度 t_w ，冷端所处空气的温度 t_f 。由电位差计测出热电偶电势为 $E(t_w, t_f)$ 。由于热电偶的电势—温度关系并非直线 (见铜—康铜热电势线图或表)，附图 2 为一示意图。管内壁温度 t_w 按以下步骤确定，先由温度 (空气) t_f 热电偶电势或表得 $E(t_f, 0)$ 。反映 t_w 的 $E(t_w, 0) = E(t_w, t_f) + E(t_f, 0)$ ，然后由 $E(t_w, 0)$ ，再查热电偶线图或表得到 t_w 值。试验管为一有内热源的圆筒形壁，且内壁绝热，因此内壁温度 t_w 大于外壁温度 t_w 。由于所用管壁很薄，仅 0.2—0.3mm，可足够准确地为 $t_w = t_w$ 。

试验时对每一种直径的管子，空气流速可调整 4—5 个工况，加热电流可根据管子直径及风速大小适当调整，保持管壁与空气间有适当的温度。每调整一个工况，须待微压计、热电偶读数等稳定后方能测量各种有关数据。E(mV)

实验十七 二维墙角温度场的电模拟

实验的目的和要求：

- 1、掌握热电模拟的原理和方法。
- 2、模拟一个二维墙角的温度场，测出等温线。

实践内容或原理：

导电现象和导热现象之间是类似的。如果 $R_L = R/L$ ， $C_L = C/L$ 是均匀的。其瞬时的电动势 E 可表示为

$$\frac{\partial^2 e}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 e}{\partial y^2} = R_L C_L \frac{\partial e}{\partial \tau}$$

均匀的二维导热区域，瞬时的温度 t 可以表示为：

$$\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} = \frac{1}{a} \frac{\partial t}{\partial \tau}$$

对于网络式的固体稳态温度场的电模拟法，要求各自的差分方程相类似：

$$t_{i+1,j} + t_{i-1,j} + t_{i,j+1} + t_{i,j-1} - 4t_{i,j} = 0$$

$$e_{i+1,j} + e_{i-1,j} + e_{i,j+1} + e_{i,j-1} - 4e_{i,j} = 0$$

两式完全类似。对于等温边界条件，保持电模型的边界节点上等电势从电阻网络节点上的电压值换算到相应的热网络对应点上的温度时，要用到电势/温度的比例常数。

$$c = \frac{e_1 - e_2}{t_1 - t_2}$$

当内外表面温度均为已知值时，定义：在选定了比例系数 C 后就可以决定应加到点模型最外层边界上的电势差，利用 C 可以从测得的电势值换算出相应的温度值。

需用的仪器、试剂或材料等：

交流稳压电源、万用表、温度场电模拟实验台

实践步骤或环节

- 1、按原理图接线。
- 2、经检查无误后，根据选取的比例常数 C 的值，确定要加的电压值，本实验 C 取 0.1。
- 3、启动电流稳压值，把电压调整到上面确定的数值。
- 4、用万压表一次测量各节点的相对电压。

六、实践教学中应注意的问题

1、教学方式

老师先根据实验指导书讲解一次，再分成 4 个小组由学生配合进行实验。实验数据要经老师检查，然后试验结束，时间约两节课。

2、实践教学报告要求

1) 实验预习报告

实验预习报告完整，理论数据计算符合要求；能正确回答指导教师提出的相关问题（随机进行）。没有做实验预习报告的学生，不能参加本次实验课，该次考核成绩以 0 分计。

2) 实验报告

每个实验完毕后，学生要认真写出一份规范的实验报告，内容包括：实验条件（实验环境、实验时间、地点、协作人员）、实验名称、目的要求、实验所用到的仪器设备、实验过程、实验结果分析、总结与讨论等。要鼓励学生在报告中写出自己创新性，有独到之处的见解，设计方案等。

实验报告要求内容全面，字迹清晰工整，数据记录、处理、计算及绘图正确，对实验中

出现的故障分析正确。

3. 组织管理的要求:

由实验教师和各班学习委员预约时间, 分批分组进行实验。

4. 对教师的要求:

- 1) . 老师必须做好实验前的备课工作, 了解仪器设备的性能和工作状态。
- 2) . 学生实验完后, 老师必须对学生的实验数据进行检查, 并在原始数据记录纸上签名。
- 3) . 教师对实验报告要认真进行批阅。对报告中出现的独到见解或问题应进行批注、写出评语、课程结束后应在规定时间内上报学生实验成绩。

5. 对学生的要求:

学生不得无故缺席实验课, 实验成绩以 0 分计。如有特殊情况(事假、病假)必须由本人提出申请, 学院主管领导批准, 待期末考试前统一补做。

6. 对教学基地、实验室和实验员的要求:

实验员必须配合好实验教师的工作, 做好实验前的准备工作, 保证实验场所的卫生整洁, 设备仪器的完好性。在实验中遇到设备问题能够及时给予解决。

七、教材及主要参考书

1、选用教材:

自编讲义

2、主要参考书:

- [1] 《工程热力学》(第四版), 沈维道, 童钧耕主编, 高等教育出版社, 2007 年
- [2] 《工程热力学》(第四版), 严家騄主编, 高等教育出版社, 2006 年
- [3] 《水力学》, 张维佳主编, 中国建筑工业出版社, 2008 年
- [4] 《流体力学与流体机械》中国建筑工业出版社, 1999 屠大燕主编
- [5] 杨世铭、陶文铨 编著, 《传热学》 第三版, 高等教育出版社, 1998, 面向 21 世纪课程教材;
- [6] 章熙民 任泽霈 梅飞鸣 编著, 《传热学》, 中国建筑工业出版社, 2007 年 7 月第五版, 普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

八、教改说明及其他 无

执笔人: 柳建祥 系室审核人: 熊军

7. 《建环专业实验 1、2、3》实验教学大纲

Specialty experiment of building environment & facility engineering 1、2、3

课程编号：0807040090112、0807040090122、0807040090132

课程类别：独立开设实验课程

学时：32（总学时 32 实验学时 32） **学分：**1

适用对象：建筑环境与设备工程

先修课程：流体输配管网、热质交换原理与设备、暖通空调、通风工程、建筑环境测试技术、冷热源工程

一、课程的性质与任务

本课程是建筑环境与设备工程专业的一门专业课，为必修课程，考查科目，涉及流体输配管网、热质交换原理与设备、暖通空调、通风工程、建筑环境测试技术、冷热源工程等多门专业课的理论知识，以综合性设计性实验为主，体现多门专业课程的相关内容，主要包括换热器综合实验、室内外环境参数测试和分析实验、空调系统综合测量及分析实验、通风系统测试实验及冷热源设备性能测试实验。学生在学习各门专业理论课程的基础上,通过本专业实验,进一步加强学生的实际动手能力,深化学生对本专业知识的系统性理解与掌握,使学生将专业知识与实践很好地结合起来,培养学生利用所学的专业知识解决实际问题的能力。

二、教学的目的与要求

通过本课程的学习，要求学生掌握温湿度、风速、风压、流量等建筑环境基本参数的测量，掌握风机、空调机组、换热器等建筑设备性能的测试方法，为学生从事实际工程技术工作打下基础。

三、考核方式及办法：

考核内容包括实验理论,操作技能,实验室安全等内容。考核标准根据学生实验报告、实验考勤和操作情况结合笔试分优秀、良好、中等、及格和不及格 5 个等级给出成绩。具体见本课程考试大纲。

四、实验项目名称与学时分配：

《建环专业实验 1》项目一览表

序号	实验项目名称	学时分配	必开或选开	所属实验模块	实验类型	分组人数
1	离心风机性能实验	3	必开	节能	综合	4
2	热用户水力工况实验	2	选开	节能	验证	4
3	空调机组风系统风量调节实验	2	选开	节能	综合	4
4	换热器综合实验	3	必开	节能	综合	4
5	散热器热工性能实验	2	选开	节能	验证	4

《建环专业实验 2》项目一览表

序号	实验项目名称	学时分配	必开或选开	所属实验模块	实验类型	分组人数
6	空调机组性能实验	3	必开	节能	综合	4
7	热湿微环境参数的测定与分析	6	选开	环境	设计	4
8	室内空气品质参数测量与分析	3	选开	环境	综合	4
9	室内热舒适性测试实验	3	选开	环境	验证	3
10	旋风除尘器性能实验	3	必开	环境	综合	4

《建环专业实验 3》项目一览表

序号	实验项目名称	学时分配	必开或选开	所属实验模块	实验类型	分组人数
11	热电偶的制作与校正	2	必开	节能	综合	3
12	建筑环境测量综合实验	6	必开	环境	设计	4
13	压力表的校正	2	选开	节能	验证	2
14	制冷压缩机性能实验	2	必开	节能	验证	4
15	煤的工业分析	2	必开	节能	综合	2
16	煤的发热量测量	2	选开	节能	综合	2

五、实验项目的具体内容：

实验一 离心风机性能实验

2. 实验的目的和要求

- (1) 掌握风压、风速、风量的测量方法及测量仪器的使用。
- (2) 了解离心风机性能的测定原理。

(3) 实测 4-72-11No.4 型离心风机在额定转速下的三条性能曲线： $H=f(Q)$ ； $N=f(Q)$ ； $\eta=f(Q)$

3. 实验原理

使用毕托管和微压计测量风管内的静压和动压，写出各断面的能量方程，通过能量方程和连续性方程计算风管进口的局部阻力系数、风量、风压，使用功率表测量风机功率，调节阀门开度 10 次，分别测量出风机的风量、风压、功率，根据实验数据绘制离心风机在额定转速下的三条性能曲线。

4. 需用的仪器、试剂或材料等

(1) 倾斜微压计：YYT-2000；(2) 比托管：0.5m；(3) 光电转速表 SZG-441C；

(4) 功率表 D33-W；(5) 温度计 0~50℃；(6) 空盒气压表 DYM3；(7) 离心风机性能试验台。

5. 实验步骤

(1)、记录离心风机型号和铭牌参数：4-72-11No.4， Q ， H ， N ， η 。

(2)、调整倾斜微压计，使基座水平，校正读数为 0，将 K 值调到 0.2，接好胶皮管。

(3)、在比托管上做出分环后 10 个测点的位置。

(4)、阀门全开，用微压计测 P_1 、 P_d ，计算局部阻力系数 ξ 。

(5)、分 10 个开度档次调节阀门，依次测量记录 P_1 、 P_2 、 N_e 。

(6)、用气压表测大气压，用温度计测室内空气温度，用转速表测量风机转速。

(7)、列表记录试验数据。

6. 教学方式

实验室现场讲解实验原理和步骤，然后按每组 4 人分组，按照实验步骤操作测试，记录原始实验数据。

7. 考核要求

要求实验数据正确、完整，动手能力强，安全意识好，正确处理实验数据。

8. 实验报告要求

实验数据正确、完整及对数据的处理分析正确，曲线绘制合理。

实验二 热用户水力工况实验

1. 实验的目的和要求

(1)、使用热网水力工况模型实验装置进行几种水力工况变化的实验，了解热网水压的变化情况，掌握改变用户的工况时对整个供水系统的影响。

(2)、掌握实验条件下水力工况变化时，水压图的变化情况，并用实验予以验证。

2. 实验原理

热水网路水力工况计算的基本原理及水压图。

3. 需用的仪器、试剂或材料等

热用户水力工况试验台。

4. 实验步骤

(1) 启动水泵，调节各阀门，使水压线为一向下的斜线，待系统稳定后，记录各点的压力和流量，并以此绘正常水压图。(2) 关小供水干管阀门，供水干管与回水干管的水流速降低，记录各点压力、流量。绘制新水压图与正常的进行比较，并记录各用户流量的变化程度。(3) 关闭其中一个用户，记录新水压图各点的压力、流量。关小总阀门，记录新水压图各点的压力、流量。(4) 实验完毕，关闭阀门 A、B，停止水泵运行。

5. 教学方式

实验室现场讲解实验原理和步骤，然后按每组 4 人分组，按照实验步骤操作测试，记录原始实验数据。

6. 考核要求

要求实验数据正确、完整，动手能力强，安全意识好，正确处理实验数据。

7. 实验报告要求

实验数据正确、完整及对数据的处理分析正确，水压图绘制合理。

实验三 空调机组风系统风量调节实验

1. 实验的目的和要求

通过对实验室空调机组风系统分别进行阀门调节和变频调节风量，让学生学会并掌握用毕托管-速度面积法测量风量，掌握这两种调节方法的原理和方法，根据对实验数据的分析处理，绘制风量与管路阻力、风量与风机消耗功率、风量与调节参数的特性曲线，并比较两种调节方法的节能性。

2. 实验原理

阀门调节原理就是改变阀门开度，增大或减小管路阻力，从而改变运行工况点的位置，如图 1。

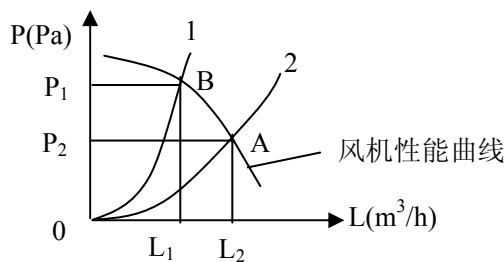


图 1 阀门调节特性图

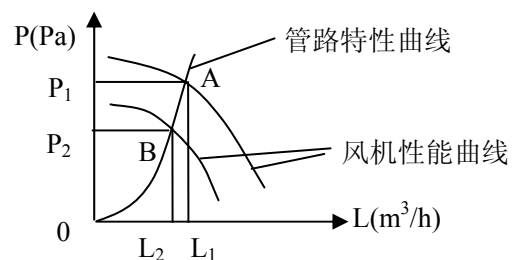


图 2 变频调节特性

由流体力学可知，风管系统的阻力和风量有如下关系：

$$P = KL^2$$

式中： P-----风管系统的阻力， Pa；

K-----管路阻力特性系数，与风管系统的局部阻力和摩擦阻力有关；

L-----管路风量， m³/s。

当调节阀门逐渐关小，管路特性系数增大，管路特性曲线上翘变陡，风量慢慢变小，见图 1，当管路特性曲线从 2 变到 1，风机运行点从 A 到 B，A 点运行时，风机的轴功率与

Q₂A P₂0 所包容的面积成正比，同样，B 点运行时，轴功率与 Q₁B P₁0 所包容的面积成正比，由图可知，两个工况点所包容的面积变化不大，故风量减小时，轴功率减小不明显，因为风机克服管道阻力消耗的功率增加了。

变频调节风量是通过变频器改变风机电机输入交流电源的频率，改变电机转速，从而改变风机送风量，当电源频率从 f₁ 降到 f₂ 时，电机转速从 n₁ 降到 n₂，频率和转速有如下关系：

$$n_1/n_2 = f_1/f_2 \quad (1)$$

变频调节方法改变了风机运行性能曲线，管路阻力特性系数 K 基本不变，如图 2。由通风机相似定律：

$$n_1/n_2 = L_1/L_2 \quad (2)$$

由 (1) 和 (2) 式得：

$$f_1/f_2 = L_1/L_2 \quad (3)$$

由图 2，当电源频率降低后，风量和风压都减小，轴功率明显减少，但是由于电机、风机效率的变化，风量的变化并不和输入功率成简单的三次方关系，可根据实验数据拟合曲线。

3. 需用的仪器、试剂或材料等

序号	名称	型号参数
1	恒温恒湿机组	H15-01 制冷量 15000Kcal/h 风量 3100m ³ /h
2	毕托管	0.5m
3	倾斜微压计	YYT-200B 量程 0~200mmH ₂ O 精度 1 mmH ₂ O
4	玻璃水银温度计	量程 0~50℃ 精度 0.2℃
5	热式风速计：	KA31
6	变频器：	FR-E540-0.75K-CH
7	单相有功功率表	D26-W 量程 0~3Kw 精度 0.5 级
8	标准水银气压表	DYB1

4. 实验步骤

阀门调节时，电源频率设定为额定频率 50Hz，送风风管阀门开度分 8 等份，回风阀门全开，改变送风阀门开度来调节送风量，在测量断面测试并记录不同阀门开度时送风量、送风管路的静压和风机输入功率。变频调节时，阀门全开，电源频率按步长 5Hz 从 10Hz 变到 50Hz，改变风机的转速来调节风量，测试并记录的数据同阀门调节。测试完成后，依次关闭风机，变频器，总开关。

5. 教学方式

实验室现场讲解实验原理和步骤，然后按每组 4 人分组，按照实验步骤操作测试，记录原始实验数据。

6. 考核要求

要求实验数据正确、完整，动手能力强，安全意识好，正确处理实验数据。

7. 实验报告要求

实验数据正确、完整及对数据的处理分析正确，根据实验测试数据，采用毕托管-速度面积法计算出各种调节情况下的送风量，在坐标纸上分别绘制阀门调节和变频调节中风量与静压、风量与风机消耗功率、风量与调节参数的关系曲线。

实验四 换热器综合实验

1. 实验的目的和要求

- (1)、了解套管式换热器，螺旋板式换热器和列管式换热器的结构及性能的差别；
- (2)、熟悉换热器性能的测试方法；
- (3)、加深对顺流和逆流两种流动方式换热器换热能力差别的认识；

2. 实验原理

$$\text{热流体放热量: } Q_1 = C_{p1} \cdot m_1 \{T_1 - T_2\} \quad [\text{W}]$$

$$\text{冷流体吸热量: } Q_2 = C_{p2} \cdot m_2 \{t_1 - t_2\} \quad [\text{W}]$$

$$\text{平均换热量: } Q = \frac{Q_1 + Q_2}{2} \quad [\text{W}]$$

$$\text{热平衡误差: } \Delta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q} \times 100\%$$

对数传热温差:

$$\Delta 1 = \{ \Delta T_2 - \Delta T_1 \} / \ln \cdot \Delta T_2 / \Delta T_1 = \{ \Delta T_1 - \Delta T_2 \} / \ln \cdot \Delta T_1 / \Delta T_2 \quad [^\circ\text{C}]$$

$$\text{传热系数: } K = Q / F \cdot \Delta 1 \quad [\text{W} / \{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}\}]$$

3. 需用的仪器、试剂或材料等

换热器综合试验台。

4. 实验步骤

- (1) 接通电源；启动热水泵，并调整好合适的流量；
- (2) 调整温控仪，使其能使加热水温控制在 80℃ 以下的某一指定温度；
- (3) 将加热器开关分别打开（热水泵开关与加热开关已进行连锁，热水泵启动，加热才能供电）；

(4) 利用数显温度计和温度测点选择开关按钮，观测和检查换热器冷-热流体的进出口温度。待冷-热流体的温度基本稳定后，既可读出相应测温点的温度数值，同时读转子流量计冷-热流体的流量，并把测试结果记录在数据记录表中；

(5) 如需要改变流动方向（顺-逆流），或要求改变工况[如改变冷水（热水）流速（或流量）]进行试验，或需要重复进行试验时，都要重新安排试验，试验方法与上述实验基本相同，并记录下这些试验的测试数据。

(6) 实验结束后，首先关闭电加热器开关，5 分钟后切断全部电源。

5. 教学方式

实验室现场讲解实验原理和步骤，然后按每组 4 人分组，按照实验步骤操作测试，记录原始实验数据。

6. 考核要求

要求实验数据正确、完整，动手能力强，安全意识好，正确处理实验数据。

7. 实验报告要求

实验数据正确、完整及对数据的处理分析正确。以传热系数为纵坐标，冷水（热水）流速（或流量）为横坐标绘制传热性能曲线。

实验五 散热器热工性能实验

1. 实验的目的和要求

(1) 了解散热器热工性能测定方法及散热器热工实验装置的结构；

(2) 测定并计算散热器的散热量 Q 和传热系数 K ，分析散热器的散热量与热媒流量 G 和温差 ΔT 的关系。

2. 实验原理

实验时，水箱内的冷水由电加热器加热，并将其温度用温控器控制在某一固定温度点，经循环水泵通过转子流量计注入散热器，散热器将一部分热量散入房间，降低温度后的回水流回水箱。在实验中应减少室内温度波动，在稳定的条件下测读所需的数值，并进行计算。

散热器的散热量 Q ：

$$Q = G \cdot C_p \cdot (t_g - t_h) \times 2.778 \times 10^{-4} \quad [\text{KW}]$$

式中： G ——热媒流量，kg/h；

C_p ——水的比热，kj/kg $^{\circ}\text{C}$ ；

t_g 、 t_h ——供、回水温度， $^{\circ}\text{C}$

散热器的传热系数 K ：

$$K = \frac{Q}{A(t_{pj} - t_n)} \beta_1 \beta_2 \beta_3 \quad (\text{K/m}^2 \text{K})$$

式中： A ——散热器散热表面积 (m^2)

t_{pj} ——散热器内热媒平均温度， $^{\circ}\text{C}$ $t_{pj} = \frac{t_g + t_h}{2}$

t_n ——室内温度 ($^{\circ}\text{C}$)

β_1 ——散热器组装片数修正系数，取 0.9~1

β_2 ——散热器组装片数连接形式修正系数，本实验台取 1

β_3 ——散热器组装片数安装形式修正系数，本实验台取 0.95。

3. 需用的仪器、试剂或材料等

散热器热工性能试验台。

4. 实验步骤

- (1) 打开泵开关，启动循环水泵，使水正常循环；
- (2) 将温控器调到所需温度（热媒温度）。打开电加热器开关，加热系统循环水；
- (3) 根据散热量的大小调节每个流量计入口和出口处的阀门。使流量达到一个相对稳定的值，如不稳定则需要找出原因，系统内有气应即时排除，否则实验结果不准确。

(4) 系统稳定后进行测定并开始记录。

(5) 改变工况进行实验

①改变供水温度，保持水流量不变。

②改变流量,保持散热器平均温度即 $t_{pj} = \frac{t_g + t_h}{2}$ 保持不变。

(6) 实验测定完毕

①关闭电加热器开关；

②停止运行循环水泵；

③检查水、电等有无异常现象，整理测试仪器。。

5. 教学方式

实验室现场讲解实验原理和步骤，然后按每组 4 人分组，按照实验步骤操作测试，记录原始实验数据。

6. 考核要求

要求实验数据正确、完整，动手能力强，安全意识好，正确处理实验数据。

7. 实验报告要求

实验数据正确、完整及对数据的处理分析正确。

实验六 空调机组性能实验

1. 实验的目的和要求

- (1)、掌握空气焓值法和冷凝器冷却水温差法测定空调机组的制冷量；
- (2)、对空气热湿处理过程的测定有了感性认识。

2. 实验原理

本实验以多联水冷空调机组作为测试对象，制冷量采用空气焓值法测量，用冷凝器冷却水温差法作为辅助测量法。制冷量按空气焓差法计算方法如下：

$$Q=L\rho(h_1-h_2), Kw$$

式中 L——机组送风量，即通过蒸发器的风量 m^3/s ；

ρ ——空气的密度， kg/m^3 ；

h_1, h_2 ——回风和送风空气的焓值， Kj/kg 。

空气的焓值根据回风和送风空气的干湿球温度在焓湿图上查得。作为辅助方法，机组制冷量还可以从冷凝器侧来确定，并按下式计算：

$$Q' = Wc (t_{w2} - t_{w1}) - P_e, \text{ kW}$$

式中 W——冷却水流量 kg/s；

c——水的定压比热，常压下 $c = 4.19 \text{ KJ/kg}^\circ\text{C}$ ；

t_{w1}, t_{w2} ——冷凝器的进出水温， $^\circ\text{C}$ ；

P_e ——机组有效输入功率，kW。

3. 需用的仪器、试剂或材料等

实验装置由一台多联水冷空调机组和冷却塔组成小型空调系统，包括三台室内机（1.5P+1.5P+2.0P）、一台水冷主机和循环冷却水系统。

表 1 实验仪器及型号参数

序号	名称	型号参数	数量	备注
1	热球风速仪	KA31, 0~50m/s, 精度: $\pm 2\%$	1	
2	管道温度计	0~100 $^\circ\text{C}$, 精度 $\pm 0.5^\circ\text{C}$	2	
3	温湿度自记仪	AZ8829, 温度-20~50 $^\circ\text{C}$, 精度 $\pm 0.6^\circ\text{C}$, 湿度0~100%, 精度 $\pm 3\%$	6	
4	水表		1	
5	秒表		1	

4. 实验步骤

(1) 用遥控器开启 2 台室内机，用遥控器设定制冷模式，风量为中风，温度 20~26 $^\circ\text{C}$

(2) 当空调机组运行基本稳定时，用热球风速仪在送风口测量 8 个点风速，用温湿度自记仪读取回风和送风空气的干湿球温度，用水表和秒表测量冷却水的流量，用管道温度计读取冷却水的进出水温，用万用电表测量机组输入功率，记录上述数据；

(3) 改变风量为高风，重复步骤 (1) (2)

5. 教学方式

实验室现场讲解实验原理和步骤，然后按每组 4 人分组，按照实验步骤操作测试，记录原始实验数据。

6. 考核要求

要求实验数据正确、完整，动手能力强，安全意识好，正确处理实验数据。

7. 实验报告要求

实验数据正确、完整及对数据的处理分析正确。

实验七 热湿微环境参数的测定与分析

1. 实验的目的和要求

学习运用必要的仪器对室内外环境参数进行测量，掌握仪器的使用方法，对室内外环境

参数有一个定量的概念；根据实测的数据和所学的知识，分析各种因素（如草地、水池、树木、通风、朝向等等）对局部热湿环境的影响。

2. 实验原理和内容

该实验属于设计性实验，由学生自己选题，实验时间安排在6月中旬，对空气的温度、相对湿度、风速和环境噪声进行测量，列表记录测量数据。

3. 需用的仪器、试剂或材料等

1)、玻璃水银温度计；2)、自记温度计；3)、红外测温仪；4)、通风干湿球温度计；5)、转杯风速仪；6)、热球风速仪；7)、声级计。

4. 实验步骤

- (1) 老师讲解测试仪器的使用；
- (2) 学生自由组合分组，每组人数5人，选择自己感兴趣的实验题目，也可自己选题；
- (3) 查阅和收集相关文献资料，设计实验方案；
- (4) 教师对实验方案评估认可，学生借出实验仪器独立开展实验；
- (5) 分析测试结果，得出实验结论，写出实验报告，实验报告中要明确成员的工作内容。

5. 教学方式

实验室现场讲解实验原理和步骤，然后按每组4人分组，按照实验步骤操作测试，记录原始实验数据。

6. 考核要求

要求实验数据正确、完整，动手能力强，安全意识好，正确处理实验数据。

7. 实验报告要求

实验数据正确、完整及对数据的处理分析正确。

实验八 室内空气品质参数测量与分析

1. 实验的目的和要求

- (1) 了解测量室内空气质量参数的相关仪器；
- (2) 掌握室内空气质量标准（GB/T18883-2002）的内容；
- (3) 根据仪器实测的数据分析室内空气质量。

2. 实验内容

根据现有仪器测试测量实验房间室内空气质量如下参数：1、温湿度；2、空气流速；3、TVOC；4、可吸入颗粒物浓度；5、氨气浓度；6、甲醛浓度；7、氡浓度；8、噪声。

3. 需用的仪器、试剂或材料等

(1) 4610 甲醛分析仪；(2) Radon RAE PRO 氡气检测仪；(3) DUSTTRAK 8520 智能气溶胶粉尘检测仪；(4) SWEMA 热舒适度测试系统；(5) 声级计；(6) Z800 氡气测试仪；(7) RAE3000PGM-7360TVOC 测试仪。

4. 实验步骤

- (1) 老师讲解测试仪器的使用；

(2) 做好测试记录表, 要求列出测试时间、测试次数、仪器名称及测试的参数

(3) 学生分组, 每组人数 4 人, 分别操作记录用上述 7 种仪器测试室内空气质量参数, 每种仪器记录三次数据。

5. 教学方式

实验室现场讲解实验原理和步骤, 然后按每组 4 人分组, 按照实验步骤操作测试, 记录原始实验数据。

6. 考核要求

要求实验数据正确、完整, 动手能力强, 安全意识好, 正确处理实验数据。

7. 实验报告要求

实验数据正确、完整及对数据的处理分析正确。

实验九 室内热舒适性测试实验

1. 实验的目的和要求

- (1) 了解热舒适测试系统;
- (2) 掌握室内空气舒适性参数的概念及测量;
- (3) 根据仪器实测的数据分析室内空气热舒适性;

2. 实验原理

热舒适被定义为人对周围热环境所做的主观满意度评价(ISO7730), 根据ISO7730的规定, 有以下三种方式来描述人对周围热环境的热舒适度(或热不舒适度):

- (1): PMV (Predicted Mean Vote) 热环境综合评价指标 ;
- (2): PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied)不满意百分比的预测数;
- (3): DR (Draught Rating气流风险) 指出了气流的紊流强度对于气流感知的重要性。

其中 PMV 和 PPD 用来表述整个人体的热舒适度, 而 DR 则用来表述人体的某些特定区域的热舒适度(或热不舒适度), 大量研究成果表明, 影响人体热感觉一共有以下 6 个因素: 其中 4 个环境参数是干球温度、空气相对湿度、风速和平均辐射温度; 两个个体参数是人体活动强度和衣着热阻声。

3. 需用的仪器、试剂或材料等

SWEMA3000 热舒适度测试系统。

4. 实验步骤

- (1) 老师讲解 SWEMA 热舒适度测试系统的使用;
- (2) 学生分组, 每组 4 人;
- (3) 每组设定三组不同的个体参数: 人体活动强度和衣着热阻, 热舒适度测试系统根据实测的室内空气环境参数和设定的个体参数计算出 PMV 和 PPD;
- (4) 每组将测试结果文件拷贝到自己的优盘内, 实验结束。

5. 教学方式

实验室现场讲解实验原理和步骤, 然后按每组 3 人分组, 按照实验步骤操作测试, 记录

原始实验数据。

6. 考核要求

要求实验数据正确、完整，动手能力强，安全意识好，正确处理实验数据。

7. 实验报告要求

实验数据正确、完整及对数据的处理分析正确。

实验十 旋风除尘器性能实验

1. 实验的目的和要求

通过实验初步了解和掌握旋风除尘器性能测定的主要内容和方法，并且对影响旋风除尘器性能的主要因素有较全面的了解，同时掌握旋风除尘器入口风速与阻力、除尘效率、除尘阻力之间的关系。由此进一步掌握旋风除尘器的使用条件了解热舒适测试系统；

2. 实验原理

(1) 除尘效率计算：

$$\eta = (G_2/G_1) * 100\% \quad (1)$$

式中： η ——除尘效率，%；

G_1 和 G_2 ——发尘量与除尘量，g。

在除尘器不发生漏风的情况下，公式可改写为：

$$\eta = (C_j - C_z) / C_j \quad (2)$$

式中： C_j 和 C_z ——除尘器进口、出口的气体含尘浓度， mg/m^3 ；

按公式（1）进行称为称重法，此法较精确，主要应用于实验研究。按公式（2）进行称为浓度法，主要应用于生产现场，它的测定工作量大。本实验采用称重法。

(2) 除尘器阻力计算

由于实验装置中除尘器进出口管径相同，故除尘器阻力可用除尘器前后测定断面的静压差扣除管道沿程阻力与局部阻力求得。

$$\Delta P = \Delta H - \Sigma \Delta h = \Delta H - (R_L \cdot l + \Delta P_m) \quad (3)$$

式中： ΔP ——除尘器阻力，Pa； ΔH ——前后测量断面上的静压差，Pa； ΔP_m ——局部阻力

$\Sigma \Delta h$ ——测点断面之间系统阻力，Pa； R_L ——比摩阻， Pa/m ； l ——管道长度，m；

(3) 除尘器进口风速计算

由 $P_d = \frac{1}{2} \rho v^2$ 计算进口风速 v 。

式中： P_d ——除尘器进口截面处动压，Pa； ρ ——空气密度， g/m^3 ； v ——进口风速 m/s ；
声。

3. 需用的仪器、试剂或材料等

(1) 毕托管 $\phi 10 \times 500\text{mm}$ ；(2) 倾斜微压计 YYT-2000 型 0~2000Pa；(3) 旋风除尘器性能试验台；(4) 天平 2000g, 精度 1g；(5) 秒表；(6) 玻璃水银温度计；(7) 空盒气压计 DYM-3；(8) 卷尺 5m。

4. 实验步骤

- (1) 开风机，测试除尘器前后风管 1/3 直径（即 $1/3 \times 280 = 93.3\text{mm}$ ）处的动压及静压。
- (2) 根据动压算出进口风速和风量，设定进气含尘浓度为 $4\text{g}/\text{m}^3$ ，根据风量计算 100 秒时间所需要加入的粉尘量 G_1 。
- (3) 用天平称出粉尘量 G_1 。
- (4) 在 100 秒内将粉尘量 G_1 均匀地从加尘漏斗中加入风管内。
- (5) 关掉风机，收集除尘器灰斗中的粉尘 G_2 并用天平称重。
- (6) 调节阀门，改变进口风速，重复 1~5，做 3 次。

5. 教学方式

实验室现场讲解实验原理和步骤，然后按每组 4 人分组，按照实验步骤操作测试，记录原始实验数据。

6. 考核要求

要求实验数据正确、完整，动手能力强，安全意识好，正确处理实验数据。

7. 实验报告要求

实验数据正确、完整及对数据的处理分析正确，曲线绘制正确。

实验十一 热电偶的制作与校正

1. 实验的目的和要求

- (1) 能够根据金属的颜色、硬度等特性分辨出不同热电偶的正负极和金属材料；
- (2) 学会制作一根热电偶；
- (3) 懂得不同热电偶的测温范围和精度；
- (4) 掌握热电偶的校对方法；
- (5) 了解在不同的环境条件下，会使用各种不同的测量温度的工具；
- (6) 通过实验确定热电偶的三定理；

2. 实验原理

不同的金属的自由电子密度是不同的。当两种不同的金属 A、B 连接在一起时，接触处就会发生电子的扩散。不同的金属自由电子的扩散速率与自由电子的密度和金属所处的温度成正比，当有温差时，就会有电子的运动，因而产生了电势。

3. 需用的仪器、试剂或材料等

调压变压器、电阻炉、标准二等铂铑铂热电偶、电脑、数据采集器、UJ36 电位差计、铜康铜热电偶丝、冰及保温杯、交流稳压电源。

4. 实验步骤

(1) 截取长为 1 米左右的镍铬和镍硅金属丝一对，将两端 1 厘米长处的氧化层刮干净并绞成绳状，进行焊接；

(2) 校对自己制作的热电偶是否达到测温标准

热电偶校验前必须进行外观检查、检查焊接点是否光滑、牢固、热电极是否变脆、变色、发黑，严重腐蚀等。

校验时将热电偶的热端插入炉内150~300mm,该范围内温度均匀,一般读数时要求温度稳定(温度变化小于 $0.2^{\circ}\text{C}/\text{min}$),电位差计为0.05级以上。将标准热电偶与被校热电偶的热端用金属丝绑扎在一起(也可不绑扎);插孔用绝热材料(石棉布)堵严保温(使用小孔时可不堵)。各热电偶的冷端置于冰点槽中以保持 0°C 。

按电位差计使用说明将各导线接入系统后,首先使“K2”在中间位置,旋转“调零”旋钮使检流计回零。转换开关拨向接通标准电池的“标准”位置,调节变阻使检流计回零。

将“K2”拨向“未知”位置,通过手动调节,依次转动电位差计盘上的三个旋钮,使检流计回零,读出热电势的值。

依次改变管式电炉的温度设定值,比较两个热电偶确定误差,要求各校验点的温度误差都不得超过表2中所规定的允许值

5. 教学方式

老师先根据实验指导书讲解一次,再分成4个小组由学生配合进行实验。实验数据要经老师检查,然后试验结束,时间约两节课。

6. 考核要求

要求实验数据正确、完整,动手能力强,安全意识好,正确处理实验数据。

7. 实验报告要求

每个实验完毕后,学生要认真写出一份规范的实验报告,内容包括:实验条件(实验环境、实验时间、地点、协作人员)、实验名称、目的要求、实验所用到的仪器设备(仪器组别编号、仪器的规格型号等)、实验过程、实验结果分析、总结与讨论等。要鼓励学生在报告中写出自己创新性,有独到之处的见解,设计方案等。

实验报告要求内容全面,字迹清晰工整,数据记录、处理、计算及绘图正确,对实验中出现的故障分析正确。

实验十二 建筑环境测量综合实验

1. 实验的目的和要求

- (1) 掌握建筑室内环境测试常用仪表的基本原理和应用方法。
- (2) 掌握建筑室内热湿环境和气流组织的测试方法。
- (3) 理解室内环境气流组织分布的评价方法。
- (4) 通过现有的室内环境测量仪器,参照国家室内环境相关标准及规范,设计实验项目及方法,并对测量结果进行分析和评价。

2. 实验内容或原理

包含建筑环境中热湿环境和气流组织的测试,具体的实验原理即为测试仪表的工作原理。

3. 需用的仪器、试剂或材料等

电脑、数据采集器、UJ36 电位差计、铜康铜热电偶丝、冰及保温杯、交流稳压电源、风速仪、辐射热计、温湿度自记仪。

4. 实验步骤

- 1) 选取多参数通风测试仪, 对室内环境的温度、相对湿度、风速分别进行测量;
- 2) 选定特征测点, 包括水平和垂直两个方向上的温度分布

3) 大多数空调与通风系统都需向房间或控制区域送入和(或)排出空气, 不同形状的房间、不同的送风口和回风口形式和布置、不同大小的送风量都影响室内空气的气流分布。

4) 根据室内环境的测量结果对以上指标进行分析计算, 来对所测室内环境进行分析评价, 若有不满足标准的性能指标, 则需分析其原因和解决措施。

5. 教学方式

老师先根据实验指导书讲解一次, 再分成4个小组由学生配合进行实验。实验数据要经老师检查, 然后试验结束, 时间约两节课。

6. 考核要求

要求实验数据正确、完整, 动手能力强, 安全意识好, 正确处理实验数据。

7. 实验报告要求

每个实验完毕后, 学生要认真写出一份规范的实验报告, 内容包括: 实验条件(实验环境、实验时间、地点、协作人员)、实验名称、目的要求、实验所用到的仪器设备(仪器组别编号、仪器的规格型号等)、实验过程、实验结果分析、总结与讨论等。要鼓励学生在报告中写出自己创新性, 有独到之处的见解, 设计方案等。

实验报告要求内容全面, 字迹清晰工整, 数据记录、处理、计算及绘图正确, 对实验中出现的故障分析正确。

实验十三 压力表的校正

1. 实验的目的和要求

- (1) 通过实验掌握绝对误差、相对误差、基本误差三个概念;
- (2) 学会正确使用压力表校验器;
- (3) 正确掌握压力表校对器;
- (4) 通过对压力表性能的了解, 知道各种压力表的使用环境掌握建筑室内环境测试常用仪表的基本原理和应用方法。

2. 实验内容或原理

利用弹性元件的弹性力来测量压力, 是测压仪表中相当重要的一种形式。由于弹性元件的结构和材料不同, 它们具有各不相同的弹性位移与被测压力的关系。

用一只精度至少比被校压力表高2级的标准表与被校对压力表一起, 通过压力表校验仪同时测量某一压力, 将二者的示值按照一下技术要求, 来判断被校压力表是否合格。

3. 需用的仪器、试剂或材料等

1) 加压泵; 2) 活塞缸; 3) 活塞; 4) 承重盘; 5) 加压介质; 6) 砝盘; 7) 油杯; 8) 被校压力表(压力传感器); 9) 表接头; 10) 手轮; 11) 切断阀; 12) 进油阀。

4. 实验步骤

A、调节支撑螺钉，将校验器调至水平。

B、把传压介质（变压器油）灌入油杯；然后排除压力系统内的空气。方法是：关闭表油路阀门，打开油杯和活塞阀门，先反时针摇动手柄排气，多次反复进行，直到油杯液面无气泡排出为止。空气排净的检查方法是：关闭油杯阀，升起活塞，将活塞下压，如果活塞无明显下降则认为排气干净。

C、装上被校压力表（压力传感器），打开油杯阀，反时针旋转手轮将油吸入气缸内，关闭油杯阀，打开活塞门与被校表油路阀；顺时针摇动手柄加压使活塞升到规定对准的标志上。

D、在砝码盘上加上被校表第一校验点相应砝码后，再旋转手轮加压使活塞升至工作位置。为了减少活塞内的摩擦阻力，应使活塞盘以不小于 30 转/分的角速度顺时针旋转。

E、依次增加或减少砝码，检验规定的校验点（对 0.5 级仪表应在全刻度标尺上均匀分布十点进行校验，对 1.0、1.5、2.5 级仪表可在五个刻度线上进行校验）。即在各校验点上记录一个上升值及下降值填入下表内。求出被校表的基本误差。

F、如果发现被校压力表的基本误差超过允许误差，则根据误差出现情况确定先调整零位还是先调整量程（即灵敏度）。零位调整方法是，用取针器取出被校压力表指针，再对准零刻度位置轻轻压下指针。量程调整方法是，用螺丝刀松开扇形齿轮上的量程调节螺钉，改变螺钉在滑槽中的位置（应根据量程需要判断螺钉的移动方向），调好后固紧螺钉，重复上述校验。调整量程时零位会变化，因此一般量程、零位需反复进行调整，一直到合格为止。如果被校压力表（压力传感器）无法调整好，则作不合格处理。

G、校验完毕后，反时针旋转手轮逐步卸下砝码，最后打开油杯阀。

5. 教学方式

老师先根据实验指导书讲解一次，再分成 4 个小组由学生配合进行实验。实验数据要经老师检查，然后试验结束，时间约两节课。

6. 考核要求

要求实验数据正确、完整，动手能力强，安全意识好，正确处理实验数据。

7. 实验报告要求

每个实验完毕后，学生要认真写出一份规范的实验报告，内容包括：实验条件（实验环境、实验时间、地点、协作人员）、实验名称、目的要求、实验所用到的仪器设备（仪器组别编号、仪器的规格型号等）、实验过程、实验结果分析、总结与讨论等。要鼓励学生在报告中写出自己创新性，有独到之处的见解，设计方案等。实验报告要求内容全面，字迹清晰工整，数据记录、处理、计算及绘图正确，对实验中出现的故障分析正确。

实验十四 制冷压缩机性能实验

1. 实验的目的和要求

- (1) 加深了解制冷循环系统的组成；
- (2) 学习测定制冷压缩机性能的方法；
- (3) 通过实际测定和制冷机运行以及参数计算，分析影响制冷机性能的因素。

2. 实验原理

- (1) 压缩机制冷量 Q

$$Q = G_z \times C_p (t_1 - t_2) \quad [\text{kW}]$$

式中：Q——压缩机制冷量[kW]

G_z ——蒸发器水的流量[kg/s]

C_p ——水的定压比热[KJ/kg·℃]
度[℃]

t_1 、 t_2 ——蒸发器冷却水的进、出口温

(2) 冷凝排热 Q_2

$$Q_2 = G_1 \times C_p (T_1 - T_2) \quad [\text{kW}]$$

式中： Q_2 ——冷凝器排热量[kW]

G_1 ——冷凝器水流量[kg/s]

T_1 、 T_2 ——冷凝器水的进出口温度[℃]

(3) 压缩机的轴功率

$$N = I \times V \times \eta \quad [\text{kW}]$$

式中：I、V——压缩机的输入电流和输入电压

η ——电机的效率（取 0.75）

(4) 性能系数 COP

$$\text{COP} = Q / N_e$$

式中：Q——压缩机制冷量[kW]

N_e ——压缩机的输入功率[kW]

(5) 压缩机绝热效率 η_e

$$\eta_e = (w_{th} * M_R) / N$$

式中： w_{th} ——制冷剂的单位制冷量 (kJ/kg)

M_R ——制冷剂流量 (kg/s)

N——压缩机的轴功率[kW]

(5) 压缩机容积效率 η_v

$$\eta_v = V_R / V_h$$

式中： V_R ——压缩机实际排气量 (L/min)

V_h ——压缩机理论排气量 (L/min)

3. 需用的仪器、试剂或材料等

制冷压缩机性能试验台。

4. 实验步骤

(1) 先开水泵，水开始循环后再启动压缩机，待工况调定后，既可开始测试，测定该工况下的蒸发（吸气）压力、冷凝（排气）压力、吸气温度、排气温度、过冷温度、蒸发器和冷凝器的进出水温度及它们的流量、压缩机的输入电功率等参数。测试数据记入数据记录表。

(2) 为提高测试的准确性，可每隔 10 分钟测试读一次数据，取其三次数据的平均值作为测试结果（三次记录数据应均在稳定工况要求范围内）

(3) 改变工况，在要求的新工况下重复上述试验，测得新的一组测试结果。

5. 教学方式

实验室现场讲解实验原理和步骤，然后按每组 4 人分组，按照实验步骤操作测试，记录原始实验数据。

6. 考核要求

要求实验数据正确、完整，动手能力强，安全意识好，正确处理实验数据。

7. 实验报告要求

实验数据正确、完整及对数据的处理分析正确。

实验十五 煤的工业分析

1. 实验的目的和要求

- (1) 掌握煤的基本成分。
- (2) 掌握测水分、灰份、挥发份的测量方法。

2. 实验内容或原理

测定煤的水分、挥发份和灰分。

3. 需用的仪器、试剂或材料等

干燥箱、马弗炉、温控器、分析天平、托盘天平、称量瓶、灰皿、坩埚钳。

4. 实验步骤

(1) 煤的水分

称取小于 0.2mm 的煤样 $1 \pm 0.1\text{g}$ (精确到 0.0002g)，放入预先烘干并已知重量的小型带盖磨口称量瓶中，轻轻晃动，使煤样铺平。将盖开启，放入加热到 160℃ 的烘箱中，在 $145 \pm 5^\circ\text{C}$ 的温度下一直鼓风并干燥 10min，然后取出，将盖立即盖好，在空气中冷却 2~3min 后，移入干燥器中冷却到室温并称重。计算试样减重 G_1 与试样重量 G 之比的百分数，即是分析煤样的水分。

(2) 煤的灰分

称取小于 0.2mm 的煤样 $1 \pm 0.1\text{g}$ (精确到 0.0002g)，放入预先烘干并已知重量的小型灰皿中，轻轻晃动，使煤样铺平，将马弗炉温度设定在 $815^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ ，将样品放入炉中燃烧 40 分钟左右。

(3) 煤中挥发分的测定

煤的挥发分与加热温度、加热时间、坩埚大小、形状及材料等因素有关。我国国家标准 (GB217—1977) 中规定加热温度为 $900 \pm 10^\circ\text{C}$ ，加热时间为 7min，坩埚为瓷制。尺寸为高 40mm，上口外径 33mm，底外径 18mm，坩锅重量为 15~19g。称取分析煤样 $1 \pm 0.01\text{g}$ (精确到 0.0002g)，放入已预先在 900°C 下灼烧到恒重的坩锅中 (对褐煤和长焰煤应预先用压饼机压成饼，并切成约 3mm 的小块)，盖好盖子，将坩锅晃动，使煤样铺平，放在坩锅架上。将马弗炉预先加热到 920°C ，打开炉门迅速将摆好坩锅的架子送到炉内恒温区，关闭炉口，使煤样在 $900 \pm 10^\circ\text{C}$ 的温度下加热 7min (打开炉门时，炉温会下降，只要在 3min 内恢复到 $900 \pm 10^\circ\text{C}$ ，实验有效，否则作废)。然后取出坩锅，在空气中冷却 5min，再放入干燥器内冷却到室温，称重。计算试样减少的重量 G_1 与试样重量 G 之比的百分数，扣除水分后，即得分析煤样的挥发分。

5. 教学方式

老师先根据实验指导书讲解一次，再分成 4 个小组由学生配合进行实验。实验数据要经老师检查，然后试验结束，时间约两节课。

6. 考核要求

要求实验数据正确、完整，动手能力强，安全意识好，正确处理实验数据。

7. 实验报告要求

每个实验完毕后,学生要认真写出一份规范的实验报告,内容包括: 实验条件(实验环境、实验时间、地点、协作人员)、实验名称、目的要求、实验所用到的仪器设备(仪器组别编号、仪器的规格型号等)、实验过程、实验结果分析、总结与讨论等。要鼓励学生在报告中写出自己创新性,有独到之处的见解,设计方案等。实验报告要求内容全面,字迹清晰工整,数据记录、处理、计算及绘图正确,对实验中出现的故障分析正确。

实验十六 煤的发热量测定

1. 实验的目的和要求

通过对煤的发热量的实验测定,对煤的高位发热量、弹筒发热量和低位发热量有比较深刻的认识,掌握煤的发热量测定原理和方法。

2. 实验内容或原理

煤的发热量测定的原理是将一定质量的燃料试样置于氧弹的燃烧皿(祖包夫皿)内,弹筒内充满 25~30bar 压力的氧气。可通电将点火丝点燃,并引燃实验煤样在过量氧气的弹筒内迅速完全充分燃烧,放出燃料的全部热量。由于氧弹被安放在水筒内,水筒内的水完全完全淹没氧弹。试样燃烧放出的热量通过弹筒传给水筒内的水,使水的温度升高,根据水的温升和热量计的热容量精确计算出试样的弹筒放热量,进一步算出燃料的高位发热量和低位发热量。

3. 需用的仪器、试剂或材料等

氧弹热量计; 称量准确度 0.0002g 分析天平, 称量准确度 0.1g 精密天平, 0~50℃温度计; 1000ml 及 500ml 容量瓶; 氧弹盖支架; 存有 60~140bar 氧气的氧气瓶(不能用电解氧); 气体减压阀; 冷却蒸馏水或自来水; 实验煤样。

4. 实验步骤

(1) 称燃烧皿(不锈钢小坩锅)的重量,加上约 1~1.2g 的煤样(发热量很高的低灰分焦煤和肥煤不宜超过 1g),然后将装有煤样的燃烧皿放到氧弹盖支撑环内。对燃烧时易于飞溅的试样,可先在机中压饼并分切成 2~4 mm 的小块使用。

(2) 用长度约 10~12cm 的点火丝,把两端分别接在两个电极上。必须注意,点火丝不能与燃烧皿相接触,以免短路,导致点火失败,甚至烧坏燃烧皿。调节下垂的点火丝与煤样微微接触(对难点燃的煤)或保持微小距离(对易燃和易飞溅的煤),以便易于着火。

(3) 往氧弹中加入 10ml 蒸馏水。小心拧紧弹盖,注意避免燃烧皿和点火丝的位置因受震动而改变。然后接上氧气导管,往氧弹中缓慢充入氧气,直到压力达到 27~28bar。对燃烧不易完全的试样,应把充氧压力提高到 35bar。充氧时间不得少于半分钟。当氧气瓶中氧气压力降到 50bar 以下时,充氧时间应酌量延长。

(4) 把已充过氧气的弹筒放入量热计的内筒,随即装好搅拌器,用手转动使它不碰及

壁面。然后往筒内加入 3000g(称准至 0.5g)的蒸馏水(温度已调至比外筒内的水温低 0.2~0.5℃)。加入的水应淹到氧弹进气阀螺帽高度的 2/3 处。每次实验时用水量应与标定热容量时一致(相差 1g 以内)。充气时如发现氧弹漏气,需在修好后才能使用。

(5) 氧弹筒接上点火电源,并连接好控制箱上的所有电路导线,盖上外筒盖,将测温传感器插入内筒,打开电源和搅拌开关,仪器开始显示内筒水温,每隔半分钟蜂鸣器报时一次。

(6) 当内筒水温均匀上升每次报时时,记下显示的温度。当记下第 10 次时,同时按“点火”键,测量次数自动复零(观察内筒温度变化过程,如在半分钟内温度急剧上升,则表明点火成功)。以后每隔半分钟储存测温数据。当测温次数达到 31 次,按“结束”键表示实验结束(若温度达到最大值后记录的温度值不满 10 次,需人工记录几次)。

(7) 停止搅拌,拿出传感器,打开水筒盖(注意:先拿出传感器,再打开水筒盖),取出内筒和氧弹,用放气阀放掉氧弹内的燃烧废气。打开氧弹,仔细观察弹筒和燃烧皿内部,若试样燃烧完全,实验有效。若有试样燃烧不完全的迹象或有炭黑存在,实验应作废。

(8) 找出未烧完的点火丝,并量出长度(或以称重法),以便计算实际消耗量。

(9) 用蒸馏水充分冲洗弹内各部、放气阀、燃烧皿和燃烧残渣,把全部洗液(约 150~200ml)收集在烧杯中供测硫用。将盛有洗液的烧杯用表面器皿盖上,加热洗液,沸腾 5min 后加 2 滴酚酞指示剂,用 0.1N 的氢氧化钠标准溶液滴定,记录消耗的氢氧化钠溶液的体积。

5. 教学方式

老师先根据实验指导书讲解一次,再分成 4 个小组由学生配合进行实验。实验数据要经老师检查,然后试验结束,时间约两节课。

6. 考核要求

要求实验数据正确、完整,动手能力强,安全意识好,正确处理实验数据。

7. 实验报告要求

每个实验完毕后,学生要认真写出一份规范的实验报告,内容包括:实验条件(实验环境、实验时间、地点、协作人员)、实验名称、目的要求、实验所用到的仪器设备(仪器组别编号、仪器的规格型号等)、实验过程、实验结果分析、总结与讨论等。要鼓励学生在报告中写出自己创新性,有独到之处的见解,设计方案等。实验报告要求内容全面,字迹清晰工整,数据记录、处理、计算及绘图正确,对实验中出现的故障分析正确

六、实践教学中应注意的问题

1. 组织管理的要求:

由实验教师和各班学习委员预约时间,分批分组进行实验。

2. 对教师的要求:

指导教师和实验技术人员要提前做好实验准备(包括教案、实验物品及仪器设备的准备)。对新开实验和本学年首次开出的实验,必须按规定提前试做。

3. 对学生的要求:

学生在实验前必须按规定进行预习。学生要听从教师和实验技术人员的指导，遵守学生实验守则和实验室的其它管理制度，严肃认真地进行实验操作，实事求是地做好实验纪录，按要求提交实验报告。

4. 实验室和实验员的要求:

实验员必须配合好实验教师的工作，做好实验前的准备工作，保证实验场所的卫生整洁，设备仪器的完好性

七、教材及主要参考书

1、选用教材:

自编讲义

2. 主要参考书

- 1) 《空调冷热源工程》，刘泽华主编，机械工业出版社，2005 年
- 2) 《冷热源工程》，陆亚俊主编，中国建筑工业出版社，2009 年
- 3) 《冷热源工程》，丁云飞主编，化学工业出版社，2009 年
- 4) 《空调用制冷技术》（第四版），彦启森主编，中国建筑工业出版社，2010 年
- 5) 《制冷原理与设备》（第三版），吴业正主编，西安交通大学出版社，2010 年
- 6) 《工业锅炉设备》，丁崇功主编，机械工业出版社，2009 年

八、教改说明及其他

执笔人： 熊军 **系室审核人：** 罗清海

8. 《给水排水专业认识实习》实践教学大纲

Cognition Practice

课程编号：0807050080202

学时：1周 学分：1

适用对象：给水排水工程专业大一学生

先修课程：无

一、本实习课程的性质与任务

1、通过对自来水厂工艺流程的观察、分析，奠定感性认识，并对给水处理的实际现象、基本概念和原理有基本理解；

2、认识给水和废水处理厂有关建（构）筑物特点布置、及专门的仪器设备名称、使用与操作方法；

3、认识建筑给水排水与消防工程的特点，奠定学生感性认识其重要性，以及初步了解建筑给水排水与消防所需设备的性能与操作方法；

4、培养实事求是的科学态度和学习工作作风；

二、实习的目的与要求

认识实习是培养学生工程形象思维能力和工程实践能力的综合性实践教学环节，是工程师基本素质培养的重要过程，是本科实践教学中不可缺少的一个重要组成成分。

1、实习过程中要求每个同学认真做好记录（随身必备记录本和笔），每个学生在实习完后一个星期内统一提交《认识实习报告》一份，要求0.6~0.8万字以上，报告内容为：工程概况、水量、水质、工艺流程及其主要设计参数、主要构筑物（设备）的参数，工艺流程图和主要建（构）筑物平面示意图，实习报告要求书写工整、清晰，内容完整；

2、注意人身安全及设备安全；

3、实习过程中，要虚心向工程技术人员和工人师傅请教、学习；

4、遵守学校有关规章制度，遵守实习单位的一切制度；

5、在外实习要维护大学生形象，维护学校形象。

三、实习组织方式和实习地点

学校给水排水工程专业老师带队，实习单位指派专业技术人员陪同在衡阳市给水处理厂、污水处理厂及某栋高层综合楼参观实习。每个地点参观半天。

四、实习时间安排

第二学期的期末考试的前一周。

五、实习的内容与要求

1、实习动员：学习《认识实习教学大纲》。

2、听取报告和参观。实习开始由实习单位指派人员陪同参观实习单位（给水厂、废水厂、某高层建筑），向学生介绍本单位的情况及进行安全教育、介绍处理工艺流程及参数。

1)、给水处理厂相关工艺与流程。

要求熟悉城市给水处理的实际生产过程，给水处理的基本原理和主要工艺，了解各类处理构筑物及设备的构造特点、作用和工作原理。

2)、污水处理厂相关工艺与流程。

要求熟悉城市污水处理的实际生产过程，污水处理的基本原理和主要工艺，了解各类处理构筑物及设备的构造特点、作用和工作原理。

3)、建筑给排水与消防系统。

要求了解常用的消防室内布置，消防设备及管线布置。消防泵房平面布置要求。

3、实习日记。在实习中，学生应将每一天的工作、观察的结果和现象、收集的图表和资料、听取报告的内容等记入实习日记。实习日记是学生编写实习报告的主要依据，也是检查学生实习情况的一个重要资料，要求学生必须认真填写。

4、专题讲座。为了丰富实习内容，实习期间可以酌情邀请工程设计、运行管理、施工单位的有经验的专家、学者进行专题讲座，以促进学生对某些方面知识或高新科技成果的深入理解。

六、考核方式及成绩评定：

指导教师应对每个学生的实习情况进行考查。实习成绩的评定应结合学生实习期间的具体表现、实习日记、认识实习报告和考查结果综合给出。根据其报告内容的完整采用“优、良、中、及格、不及格”五级评分方法。应严格考核制度，凡无故缺勤、迟到、早退者，无实习日记或实习报告者，不允许参加考核，成绩按不及格计，需重新参加认识实习。

七、实习报告的内容与要求

实习结束后，学生应提交一份完整的实习报告，实习报告是对整个实习过程的总结，应根据自己的实习日记和实习体会认真撰写。实习报告应包括以下内容：

自己对实习目的和要求的理解，实习单位的概况，参观实习所了解到的主要工艺知识。阐述不同构筑物工作原理和作用，详细介绍各构筑物的工作过程。结合理论知识和工程实际，对实习单位提出在运行管理、施工组织等方面问题的改进措施和建议。总结实习的收获和体会，对今后实习工作提出意见和建议。

八、实习教材及主要参考书

张自杰. 排水工程（下册）（第四版）. 北京：中国建筑工业出版社. 2000

严煦世, 范瑾初. 给水工程（第四版）. 北京：中国建筑工业出版社. 2011

王增长. 建筑给水排水工程（第六版）. 北京：中国建筑工业出版社. 2009

郑达谦. 给水排水工程施工（第三版）. 北京：中国建筑工业出版社. 1998

九、其他需要说明的内容

执笔人：周耀辉 系室审核人：王劲松 何少华

9. 《环境工程专业认识实习》实践教学大纲

Cognition Practice for Environmental Engineering

课程编号：0810010130202

学时：1周 学分：1.0

适用对象：环境工程专业

先修课程：无

一、本实习课程的性质与任务

认识实习是环境工程专业教学的重要基础环节。认识实习的基本目的，是给学生提供感观上认识水污染控制、大气污染控制和固废处理处置的实际工程，增强环境工程专业感性认识，较全面了解对水、气、声、渣的治理工程的各个环节，加深对本专业所学知识的认识，和专业的认同。

认识实习是一次实践性很强、内容丰富的教学过程，必须有明确的目的、周全的计划、充分的准备、良好的纪律以及吃苦耐劳的精神，才能完成实习任务。

二、实习的目的与要求

1、通过现场参观、听解说和报告及阅读资料等方式，全面了解实习企业的生产过程，了解企业三废治理的基本情况（现状、发展史、经验教训、存在问题及改进措施等）。使学生对实习企业有较完整的感性认识。

2、每个学生必须明确实习目的、内容和要求，按计划、有步骤地进行实习。认真收集有关所需的技术资料，为编写认识实习报告做好充分准备。

3、实习期间，每个学生必须服从实习单位的领导、师傅和指导教师的安排，不得无故缺席，严格自觉遵守企业和学校的各项规章制度，搞好关系，维护学校荣誉。

4、注意实习期间安全，确保人身与财物安全。

三、实习组织方式和实习地点

实习组织方式为现场参观，听取学院带教老师及实习单位专家的讲解，认真记录、积极思考、踊跃提问。实习地点为衡阳市吉兴垃圾填埋场、衡阳市钢管厂、衡阳市长湖乡污水处理厂。

四、实习时间安排

时间安排在第三学期的第十五周左右。

五、实习的内容与要求

1、实习内容

1、参观水污染控制工程设施：衡阳市长湖乡污水处理厂、衡阳市钢管厂

(1) 要求：通过现场参观水污染控制工程设施，听取企业技术人员的解说或专题报告等。了解水污染控制的对象、方法和目的。了解废水处理的基本方法和控制技术，熟悉废水处理工艺流程。

(2) 重点内容：水污染控制技术和废水处理工艺流程。

2、参观大气污染控制工程设施：衡阳市钢管厂

(1) 要求：通过现场参观大气污染控制工程设施，听取企业技术人员的解说或专题报告等。了解大气污染控制的对象、方法和目的。了解废气处理的基本方法和大气污染控制技术。

(2) 重点内容：废气处理的基本原理和方法。

3、参观固体废物处理处置工程设施：衡阳市吉兴垃圾填埋场

(1) 要求：现场参观环境固体废物处理处置工程设施，听取企业技术人员的解说或专题报告等。了解环境固体废物处理处置对象、方法和目的，了解环境固体废物处理处置方法和控制技术。

(2) 重点内容：环境固体废物处理处置方法。

4、专题讨论

要求通过根据现场参观获取的知识，有任课教师出题，组织专题讨论。熟悉水污染控制技术和废水处理工艺流程的基本知识、废气处理的基本原理和方法、固体废物处理处置方法和控制技术。

2、实习要求

(1) 布置同学提前查找有关污水处理、废气处理和垃圾填埋的有关法律法规、技术导则、标准及方法。

(2) 实习出发前召开班会，主要内容：一是认识实习的重要意义；二是认识实习的行程简介；三是认识实习过程中的主要注意事项：遵守时间、统一行动；要遵守实习单位的有关规章制度和充分尊重带教老师和讲解老师；要切实注意人身安全。

(3) 实习接收后及时总结，在规定时间内提交认识实习报告。

六、考核方式及成绩评定：

将整个实习过程与实习成绩进行有机结合，采取多样化考核方式全面衡量学生在生产实习在在校专题调研、进厂实习和实习报告编写三个阶段的综合表现。具体指标如下：

1. 预实资料准备	10
2. 实习笔记	20
3. 实习纪律	10
4. 现场提问	20
5. 实习报告	40

七、实习报告的内容与要求

学生实习结束后，应按时完成符合要求的实习报告。实习报告是衡量学生实习成绩好坏的主要依据。实习报告应包括实习企业基本概况，企业生产规模、主要产品及质量标准、人员状况、主要产品的生产原理及工艺流程、生产过程“三废”来源、数量及治理和排放情况、企业环境管理体制建设和基本制度（如企业职工劳动安全卫生教育管理，工作场所安全使用化学品的规定等）、清洁生产推广实施情况、实习所在车间带控制点工艺流程及设备布置介绍。实习所在岗位的任务、管辖范围、原理、工艺条件、设备参数及作用、典型装置的操作运行、常见事故及处理，实习总结等内容。

实习报告由学生独立完成，要求条理清晰，体现出内容的完整性、数据的准确性，一定要从专业的角度总结实习的收获与体会，要对生产流程、操作控制、技术管理等的先进性、合理性以及存在的问题提出自己的见解，力求认识水平再上台阶，工程能力得到确实提高，为今后走上工作岗位，进行工程设计、技术创新和科学研究奠定良好的基础。

八、实习教材及主要参考书

无

九、其他需要说明的内容

无

执笔人：唐东山 **系室审核人：**吕俊文

10. 《建筑环境与设备工程专业认识实习》实践教学大纲

Introductory Practicing

课程编号：0807040080202

学时：1周 学分：1

适用对象：建筑环境与设备工程专业本科生

先修课程：建筑环境与设备工程概论

一、本实习课程的性质与任务

认识实习是建筑环境与设备工程专业学生在开始学习专业课程不久，为尽快增强感性认识，了解专业方面的相关情况，有针对性的安排到实际现场的重要实践性教学环节，通过参观和见习，培养学生观察社会，思考问题的能力，为学生系统了解专业的概况，巩固和深化专业思想，加强专业理论知识的学习奠定基础。

二、实习的目的与要求

通过认识实习，使学生初步了解本专业的学习内容，专业范围，了解本专业的现状和发展前景，提高对本专业在社会、经济建设发展中的作用及地位的认识，并为后续课程的学习建立感性认识，提高学习兴趣，加深对本专业的了解与热爱，使学习的目的和目标更加具有明确性。。

三、实习组织方式和实习地点

认识实习由教师负责联系和安排实习单位，学生集中参观学习，并由现场技术人员讲解或者实习指导教师讲解。实习地点为湖南省长沙市。

四、实习时间安排

认识实习安排第4学期进行，时间为1周，具体时间分配如下表：

序号	计划内容	时间安排
1	实习动员、实习准备	1天
2	现场参观实习，听讲座	4天
3	回校总结，撰写实习报告	1天

五、实习的内容与要求

(1) 认识实习的基本内容：

1. 参观建筑的冷热源机房，认识各种专业设备，了解机房的平面和空间布置，简单了解制冷机的工作原理，理清冷却水系统和冷冻水系统的流程，要求学生能够把制冷机房的平

面图以及这些水系统图画下来，作为认识实习报告中具体内容。

2. 参观建筑的中央空调系统，初步认识空调系统的基本结构和组成，认识空气处理设备及其工作原理，了解风管、水管的布置要求和安装方法。

3. 参观锅炉房，了解锅炉的基本构造和工作原理，看懂锅炉房水系统的流程，了解水处理设备的工作原理。

4. 参观建筑的给水排水、消防和防火排烟系统，了解关于给水和排水方面的基础知识，了解消防系统的工作原理，认识消防水管和防排烟系统，理解防火排烟分区的划分的目的。

5. 参观具有一定智能化的楼宇，了解建筑供配电和照明系统的初步知识，认识电气和智能自动化设备，初步理解其工作原理。

6. 参观设备生产厂家，了解设备的制作流程和生产工艺，观察设备的内部结构。

认识实习的具体要求如下：

1. 参观本专业有关的工程系统，并对其工作原理、目的能够初步了解，仔细听取有关单位工程技术人员和带队老师的讲解，并作笔记。

2. 了解有关设备的功能、特点，在现场绘制草图；并记录设备名称、型号、性能、厂家等内容。

3. 对照实物，看懂部分系统或设备施工图的表示方法。

六、考核方式及成绩评定：

实习结束后，学生应提交认识实习报告，实习指导教师根据实习报告的内容和平时纪律以及考勤的情况对学生的实习成绩进行考核评定。

实习成绩由指导教师根据以下三方面并结合考勤表和实习单位的评语进行评定：

1. 实习中的表现，学习态度和劳动态度，遵守纪律和各项规章制度的情况；
2. 实习日记的情况，对所从事的施工操作技能的熟悉和初步掌握情况；
3. 实习报告；

实习成绩为 5 级记分制，即优秀、良好、中等、及格、不及格。

七、实习报告的内容与要求

认识实习后，学生应认真总结所参观的知识重点，把所参观的内容整理成实习报告；实习报告的内容包括：

1. 实习概况（实习时间、地点、单位、项目的概述等）；
2. 主要实习内容，参观的内容；
3. 实习和参观的收获体会；
4. 发现的问题和改进意见；
5. 其它。

实习报告是评定学生实习成绩的重要依据之一，它不但反映学生对实习内容理解的深度和质量，而且反映学生分析和归纳问题的能力。实习报告要求实习的时间、地点务必清楚，

内容完整，叙述条理清晰，详细具体，科学系统，图文并茂，简明工整。

八、实习教材及主要参考书

九、其他需要说明的内容

无

执笔人：宁勇飞 **系室审核人：**罗清海

11. 《给水排水专业生产实习》实践教学大纲

Field Practice of water supply and wastewater engineering

课程编码: 0807050080302

学时: 4 周 **学分:** 4.0

适用对象: 给水排水工程专业四年级本科生

先修课程: 水质工程学、给水排水管道系统工程、建筑给排水与消防工程、水泵与水泵站、仪表与控制

一、课程的性质和任务

生产实习是给水排水工程专业教学计划中重要的实践性教学环节中的一个重要组成部分,是学生接触给水排水工程专业领域生产实际的重要途径和手段。通过此环节使学生更加加深和巩固所学的理论知识,学生通过接触实际生产和工艺过程,加深对本专业各方向应用领域的了解,巩固和加深对所学知识的掌握,增强综合运用专业知识解决工程实际问题的能力,逐步建立工程观念和专业思想。

二、教学目的与要求

(1) 教学目的

通过生产实习这一实践教学环节,使学生结合给水排水工程专业的基础和专业理论课程的学习,将所学的有关环境工程系统和设备的专业理论知识与实际生产相联系,印证、巩固和加深所学的基本理论知识,并扩大专业知识范围,培养学生独立进行给排水工程设计及运营管理能力。

(2) 教学要求

生产实习是给水排水工程专业学生在整个实践教学过程的重要环节,通过在实习基地的实习,结合在校学习的专业理论和知识,要求学生:

(1) 深入地了解 and 掌握工程建设的程序以及各设计阶段的设计深度和要求,熟悉城市给水工程、排水工程、建筑给排水工程的设计和施工内容、步骤与方法;

(2) 熟悉和了解城市净水厂、城市污水厂及工业污水处理站各单项构筑物的型式、构造、工作过程、基本设计参数以及运行管理的内容、方法和经验;

(3) 了解净水厂和污水厂自动化运行及水质控制设施情况,净水厂和污水厂的组织管理及运行的各项技术经济指标,包括人员编制、电耗、处理成本等;

(4) 熟悉和了解室外给水管道、室外排水管道、建筑给水排水管道及其附属构筑物的布置情况;

(5) 熟悉和了解建筑物室内给排水系统方式、设备及管道的平面布置、系统竖向分区及建筑热水供应系统情况；

(6) 熟悉和了解室内外消防系统的设计概况、设备型号及个数、防火分区、增压减压设备型号及设备的布置情况等。

三、教学内容

本次实习为给排水工程专业综合性的生产实习，它主要包括以下几个方面的内容：

(1) 给水工程：取水构筑物、给水处理厂（生活及生产），重点为给水处理厂。学习内容包括水厂的水源、生产规模、工艺流程、仪表自控、生产管理、水质检验、供水情况、厂区布置及人员配置等；

(2) 排水工程：城市污水处理厂及工业废水处理站，重点为城市污水处理厂。学习内容包括污水水质情况、处理能力、工艺流程、构筑物类型、仪表自控、处理效率、污泥处置、厂区布置及人员配置等；

(3) 建筑给排水工程：学习内容包括建筑给水系统、排水系统、热水系统、消防系统。

四、实习时间与地点

1. 地点：外地。
2. 时间：第七学期。

五、考核方式与评分标准

给水排水专业毕业实习考核方式为考查，具体通过以下几个方面来考察和评分，根据以下四个方面，成绩评定采取优、良、中、及格、不及格五级记分制。

- (1) 考勤；20%
- (2) 实习日记；20%
- (3) 实习报告；40%
- (4) 实习期间综合表现；20%

六、实习指导书及参考书

- (1) 张自杰等. 排水工程（下册）[M]. 中国建筑工业出版社，1999
- (2) 严煦世等. 给水工程（第四版）[M]，中国建筑工业出版社，1999
- (3) 王增长等. 建筑给水排水工程（第五版）[M]，中国建筑工业出版社，2004

执笔人：陈胜兵 **系室审核人：**王劲松 何少华

12. 《环境工程专业生产实习》实践教学大纲

Environment field practice

课程编号：0810010130302

学时：4 周 **学分：**4.0

适用对象：环境工程

先修课程：水污染控制工程、环工原理与设备、大气污染控制工程

一、本实习课程的性质与任务

该实习是为环境工程专业本科四年级学生开设的生产实习，是环境工程专业实践教学环节中的一个重要组成部分，是学生接触环境工程专业领域生产实际的重要途径和手段。学生通过接触实际生产和工艺过程，加深对本专业各方向应用领域的了解，巩固所学的专业知识，逐步建立工程观念和专业思想。

二、实习的目的与要求

通过生产实习这一实践教学环节，使学生结合环境工程专业的基础和专业理论课程的学习，将所学的有关环境工程系统和设备的专业理论知识与实际生产相联系，印证、巩固和加深所学的基本理论知识。

通过本教学环节，使学生对环境工程领域生产企业及设备以及环保设备的应用有一个基本印象，了解企业的必备生产环境、技术经济概况以及与其他工业企业的联系；了解行业生产的概况，学习企业的生产管理模式和运行方法，获得对本专业领域企业的实际感性知识，加深学生对环境专业的认识理解；学会运用所学知识观察认识实际问题，培养探索和积极进取的创新精神；提高分析和解决实际问题的能力；学习企业的管理人员和员工的敬业和团队精神，树立劳动观点、集体观点和创新精神，进一步提高适应社会的能力，培养学生勤奋好学的品格。

三、实习组织方式和实习地点

采用集中实习的方式，即学生在老师的指导下到与专业对口的相关单位进行集中实习。主要是听取实习单位技术人员对其单位处理污水或生活垃圾所采用的生产工艺、主要设备、管理模式、运行方式、技术经济指标及三废排放和治理技术的讲解，收集相关资料及进行现场参观和实测，有条件的实习点，学生可跟班操作。地点可以在广西桂林市、也可在广东韶关市或衡阳本地的相关单位。

四、实习时间安排

时间安排在第七学期的期初或期末。

五、实习的内容与要求

1. 听取实习单位安全管理人员的安全教育报告、生产管理方法等；
2. 听取实习单位工程技术人员介绍其单位概况；
3. 在技术人员的带领下，参观学习实习单位生产工艺流程及主要设备，熟悉工厂布置；
4. 参观学习各处理单元情况，包括处理负荷，停留时间，去除效果，各主要处理设备和设施的结构、工作原理、特点、应用情况、存在的问题及解决的方法和途径等，污水泵、潜水泵、污泥泵、板框压滤机、真空压滤机、计量泵、空气压缩机、搅拌机、紫外消毒系统、螺旋分级机、通风机、提升机等设备的型号、技术规范等；
5. 参观学习各车间废气产生及处理情况，包括废气处理流程、除尘技术和脱硫技术，各种除尘器和脱硫塔的结构、工作原理、特点、应用情况、存在的问题及解决的方法和途径等，风机、供电系统的技术规范等；
6. 参观学习各车间固体废弃物的产生及处理情况，包括废物处理流程、分选技术和设备、综合利用变废为宝的方法和途径及填埋情况等；
7. 了解各种监测仪器的原理和使用方法，分析存在的问题及解决的方法和途径。有条件的实习点，学生可跟班操作。

六、考核方式及成绩评定：

将整个实习过程与实习成绩进行有机结合，采取多样化考核方式全面衡量学生在生产实习在在校专题调研、进厂实习和实习报告编写三个阶段的综合表现。具体指标如下：

6. 预实资料准备	15
7. 实习笔记	15
8. 实习纪律	10
9. 现场提问	20
10. 实习报告	40

七、实习报告的内容与要求

学生实习结束后，应按时完成符合要求的实习报告。实习报告是衡量学生实习成绩好坏的主要依据。实习报告应包括实习企业基本概况，企业生产规模、主要产品及质量标准、人员状况、主要产品的生产原理及工艺流程、生产过程“三废”来源、数量及治理和排放情况、企业环境管理体制建设和基本制度（如企业职工劳动安全卫生教育管理，工作场所安全使用化学品的规定等）、清洁生产推广实施情况、实习所在车间带控制点工艺流程及设备布置介绍。实习所在岗位的任务、管辖范围、原理、工艺条件、设备参数及作用、典型装置的操作运行、常见事故及处理，实习总结等内容。

实习报告由学生独立完成，要求条理清晰，体现出内容的完整性、数据的准确性，一定要从专业的角度总结实习的收获与体会，要对生产流程、操作控制、技术管理等的先进性、

合理性以及存在的问题提出自己的见解，力求认识水平再上台阶，工程能力得到确实提高，为今后走上工作岗位，进行工程设计、技术创新和科学研究奠定良好的基础。

八、实习教材及主要参考书

无

九、其他需要说明的内容

无

执笔人：张晓文 **系室审核人：**吕俊文

13. 《建筑环境与设备工程专业生产实习》实践教学大纲

Production Practice

课程编号：0807040080302

学时：40 学分：2

适用对象：建筑环境与设备工程大三的本科生

先修课程：《暖通空调》、《工业通风》、《安装技术》

一、本实习的性质与任务

在实习中，通过基本生产技术学习、生产实践、施工管理与组织、专业参观等内容，培养学生的劳动观点。了解专业实践知识，服务对象和专业工程设施。初步了解实际工程技术的情况及国家现行的建设施工技术法规、法令和安全技术及法规，进而使学生对本专业在祖国现代化建设中的作用及本专业的业务内容有初步的了解和感性认识，树立对专业的热爱与事业心。

二、实习的目的与要求

生产实习由基本生产技术学习、专业参观两部分组成。各部分进行的方式及内容如下：

（1）基本生产技术学习

以学校课堂教学方式、集中讲解基本生产技术及安全技术知识。主要内容为：

- 1) 工程安装施工的管材、管件及常用材料。
- 2) 钢管加工及连接。
- 3) 风管加工及连接。
- 4) 施工安全技术知识。

（2）施工现场参观

参观已建成或正在施工的建筑给排水、供热、通风、空调、制冷、锅炉和冷库工程、燃气输配工程、建筑电气工程公司及有关的设备生产厂，并请有关的设计、安装和管理工程技术人员介绍工程情况，了解工程设计、施工建设情况，了解典型系统及其设备构造，性能规格，运转情况，操作规程和安全规程等有关内容。

专业参观的工程应按学生所选专业方向侧重安排。

三、实习组织方式和实习地点

参观实习：每班为一小组，到指定的地点由专业老师带队到衡阳市典型的中央空调用户

参观实习主要有江东冷库、新附二医院、中心医院、晶珠广场等。

生产实习：每班分为4个小组到“衡阳三力高科技开发公司”的生产车间实习。

四、实习时间安排

生产实习是工科学生学习过程中理论联系实际的重要环节。生产实习安排在学生已学完基础课和技术基础课，即将或已经开始学习专业课时进行。

衡阳市典型的中央空调用户参观实习一周“衡阳三力高科技开发公司”的生产车间实习一周。

五、实习的内容与要求

5.1 内容：

参观实习：参观衡阳市具有典型功能的中央空调系统（如江东冷库；新附二医院空调系统、中心医院空调系统、晶珠广场空调系统）。

生产实习：在校内生产实习基地“衡阳三力高科技开发公司”的生产车间现场制作圆风管、方风管、熟悉焊接工艺。

5.2 要求：

- (1) 遵守社会主义精神文明和道德规范
- (2) 尊重实习单位、指导人和教师的安排指导，虚心好学，对重大问题未经指导人同意，不得擅自处理；
- (3) 遵守实习单位的一切规章制度和劳动纪律，不得无故缺席，迟到和早退，实习期间一般不准事假，病假要有医生证明；
- (4) 实习期间要特别注意安全，严格遵守安全操作制度，不乱拉开关、闸门，不乱动各种机械设备，防止各类事故发生。如发生事故，必须马上报告；

六、考核方式及成绩评定：

实习结束后，由车间的师傅和指导老师，根据学生实习的表现，独立工作能力，劳动态度，与工人的关系，遵守纪律和各项规章制度等情况。由出勤次数+平时操作实践+实习报告成绩的总和确定。

七、实习报告的内容与要求

字数不少于3000字，

实习结束后，学生应及时总结，写出实习报告。其内容包括：

- (1) 实习概况（实习时间、地点、单位、项目的概述等）；
- (2) 主要实习内容，参观的内容；
- (3) 实习和参观的收获体会；
- (4) 发现的问题和改进意见；
- (5) 其它。

实习报告是评定学生实习成绩的重要依据之一，它不但反映学生实习的深度和质量，而且反映学生分析和归纳问题的能力。实习报告应科学系统，图文并茂，简明工整。

八、实习教材及主要参考书

无

九、其他需要说明的内容

无

执笔人：张杰 **系室审核人：**罗清海

14. 《给水排水专业毕业实习》实践教学大纲

Graduation Practice of water supply and wastewater engineering

课程编码: 0807050080102

学时: 2 周 **学分:** 2.0

适用对象: 给水排水工程专业四年级本科生

先修课程: 水质工程学、给水排水管道系统工程、建筑给排水与消防工程、水泵与水泵站、水工程施工、工程概预算

一、课程的性质和任务

毕业实习是给水排水工程专业教学计划中重要的实践性教学环节之一,通过此环节使学生更加加深和巩固所学的理论知识,通过现场的观察、资料收集、向经验丰富的专家和技术人员请教学习,掌握更多的实际工程知识提高学生解决问题及分析问题的能力,巩固和加深对所学知识的掌握,增强综合运用专业知识解决工程实际问题的能力;收集到更多的与毕业设计题目有关的资料,为顺利完成毕业设计作好充分准备。

二、教学目的与要求

(1) 教学目的

通过毕业实习,巩固和加深所学专业知识和扩大专业知识范围,培养学生独立进行工程调研和完成给排水工程设计的能力。熟悉和掌握给水工程、排水工程、高层建筑给排水工程的设计步骤和设计方法。了解和学习科研试验、工程设计、施工中所采用的新技术、新设备、新材料,学习自来水厂、污水处理厂等的运行管理经验。

(2) 教学要求

毕业实习是给水排水工程专业学生在整个实践教学过程的重要环节,通过带着自己毕业论文(设计)任务,有针对性地参与实习单位的工程实例;结合四年在校学习的专业理论,为毕业论文(设计)的构思及实际运用理论知识提供基础。通过毕业实习,要求学生:

(1) 深入地了解 and 掌握工程建设的程序以及各设计阶段的设计深度和要求,熟悉城市给水工程、排水工程、建筑给排水工程的设计和施工内容、步骤与方法。

(2) 熟悉和了解水厂、污水厂各单项构筑物的型式、构造、工作过程、基本设计参数以及运行管理的内容、方法和经验。了解水厂自动化设施及运行情况与污水处理厂的调试运行情况;了解水厂、污水厂的规模,工艺流程,平面及高程布置情况。了解水厂、污水处理厂的组织管理及运行的各项技术经济指标,包括人员编制、电耗、处理成本等。

(3) 熟悉和了解建筑物室外给水排水管道及设备的布置情况;室内给水系统的供水方式,设备及管道的平面布置,系统竖向分区情况;建筑的排水方式、通气系统的设置情况;

消防系统的设计概况、设备型号及个数、防火分区、增压减压设备型号及位置等；建筑热水供应系统的设计概况、加热设备的及主要附属设备的型号、设备的布置情况等。

三、教学内容

（一）水厂的实习

水厂的水源、生产规模、工艺流程、生产管理、水质检验、供水情况、厂区布置及绿化、人员配置等；

（二）污水处理厂的实习

污水水源及水质情况、处理能力，处理程度，处理效率，污泥处置、工艺流程、构筑物类型、厂区布置及绿化、人员配置等；

（三）建筑给水排水与消防工程实习

建筑给水排水工程设计图纸内容及设计深度、室内各种管道的安装及施工处理、附属设备的种类及型号、消防设备的类型及应用条件、工程中采用的新技术、新设备和新材料等。

重点：给排水工程设计及施工内容；

难点：给排水工程设计及施工新方法、新技术及新的管理模式。

四、实习时间与地点

1. 地点：实习前二至三周落实实习地点（一切准备就绪）。
2. 时间：第八学期第四至六周。

五、考核方式与评分标准

给水排水专业毕业实习考核方式为考查,具体通过以下几个方面来考察和评分,根据以下四个方面,成绩评定采取优、良、中、及格、不及格五级记分制。

1. 考勤；20%
2. 实习日记；20%
3. 实习报告；40%
4. 实习期间综合表现；20%

六、实习指导书及参考书

1. 张白杰等. 排水工程[M]. 中国建筑工业出版社, 1999
2. 严煦世等. 给水工程（第四版）[M], 中国建筑工业出版社, 1999
3. 李亚峰等. 给水排水工程专业毕业设计指南[M]. 化学工业出版社, 2003
4. 张勤等主编. 水工程施工[M]. 北京, 中国建筑工业出版社, 2005. 1
5. 彭尚银主编. 施工组织设计编制[M]. 北京, 中国建筑工业出版社, 2006. 4
6. 中华人民共和国发展计划委员会主编. 工程建设项目施工招标[M]. 北京, 中国建筑出版社, 2003. 5

执笔人：王劲松 **系室审核人：**何少华

15. 《环境工程专业毕业实习》实践教学大纲

Graduation Practice for environmental engineering

课程编号：0810010130102

学时：2周 学分：2.0

适用对象：环境工程专业

先修课程：修完所有专业课程

一、本实习课程的性质与任务

该实习是为环境工程专业本科四年级学生开设的毕业实习，是环境工程专业毕业设计（论文）前的一个关键实践教学环节，是学生结合毕业设计（论文）内容，把环境工程专业领域的理论知识结合工程实践再次深化的的重要途径和手段。学生通过接触实际生产和工艺过程，加深对本专业知识的具体应用，巩固所学的专业知识，强化了学、用结合。为学生走向社会打下深厚的基础。

二、实习的目的与要求

毕业实习是学生学习完全部课程后，进行毕业设计 with 毕业论文前一个重要实践教学环节。他对巩固专业理论知识和将要进行的毕业设计 with 论文有重要的指导意义。毕业实习的基本目的是给学生提供理论联系实际的学习条件。巩固加深书本理论知识的理解，培养学生、观察、分析解决实际问题的能力。同时也可获得毕业设计、论文所需的素材与技术资料。鼓励学生以学习的态度为改进企业环保方面提出合理化的意见与建议。

三、实习组织方式和实习地点

采用集中实习的方式，或分散实习的方式，即学生在老师的指导下结合到毕业设计的方向到专业对口的相关单位进行集中实习，或者部分同学结合自己就业意向，到就业意向单位（从事环境工程）进行实习。主要是通过参观访问或者跟班等方式收集实习单位技术人员对其单位处理污水或生活垃圾所采用的生产工艺、主要设备、管理模式、运行方式、技术经济指标及三废排放和治理技术的讲解，收集相关资料及进行现场参观和实测，有条件的实习点，学生可跟班操作。地点可以在衡阳市、也可在全国其他相关单位。

四、实习时间安排

时间安排在第八学期的开学第二周左右

五、实习的内容与要求

1、实习内容

1) 水污染控制工程设施：衡阳市城西污水处理厂、衡阳市钢管厂、建涛化工厂
现场参观水污染控制工程设施，听取企业技术人员的解说或专题报告等。掌握污水处理

的工艺流程、工艺参数、设备选型等。

重点内容：生活污水处理、含油废水处理、工业废水处理工艺流程、工艺参数、设备型号。

2) 大气污染控制工程设施：衡阳市钢管厂

通过现场参观访问大气污染控制工程设施，听取企业技术人员的解说或专题报告等。掌握烟气除尘、脱硫的工艺流程、工艺参数、设备选型等。

重点内容：掌握烟气除尘、脱硫的工艺流程、工艺参数、设备选型等。

3) 固体废物处理处置工程设施：衡阳市吉辛垃圾填埋场

现场参观环境固体废物处理处置工程设施，听取企业技术人员的解说或专题报告等。掌握固体废物的填埋工艺、单元操作工艺、渗滤液处理工艺与参数、设备、导气石龙的布置、砾石粒径、石笼直径，场外截水系统的布置与断面设置等。

重点内容：环境固体废物处理处置方法。

2、实习要求

1) 不得无故缺席，迟到和早退，实习期间一般不准事假，如有特殊情况应征得指导老师的同意，病假要有医生证明；

2) 通过现场参观、听解说和报告及阅读资料等方式，全面了解实习企业的生产过程，掌握企业三废治理的基本情况，尤其是处理工艺、工艺参数、设备选型等。使学生对实习企业三废处理有深刻的了解。

3) 每个学生必须明确实习目的、内容和要求，按计划、有步骤地进行实习。认真收集有关所需的技术资料，为编写认知实习报告做好充分准备。

4) 实习期间，每个学生必须服从实习单位的领导、师傅和指导教师的安排，不得无故缺席，严格自觉遵守企业和学校的各项规章制度，搞好关系，维护学校荣誉。

5) 注意实习期间安全，确保人身与财物安全。

六、考核方式及成绩评定：

将整个实习过程与实习成绩进行有机结合，采取多样化考核方式全面衡量学生在生产实习在在校专题调研、进厂实习和实习报告编写三个阶段的综合表现。具体指标如下：

11. 预实资料准备	10
12. 实习笔记	20
13. 实习纪律	10
14. 现场提问	20
15. 实习报告	40

七、实习报告的内容与要求

学生实习结束后，应按时完成符合要求的实习报告。实习报告是衡量学生实习成绩好坏的主要依据。实习报告应包括实习企业基本概况，企业生产规模、主要产品及质量标准、人员状况、主要产品的生产原理及工艺流程、生产过程“三废”来源、数量及治理和排放情况、企业环境管理体制建设和基本制度（如企业职工劳动安全卫生教育管理，工作场所安全使用化学品的规定等）、清洁生产推广实施情况、实习所在车间带控制点工艺流程及设备布置介

绍。实习所在岗位的任务、管辖范围、原理、工艺条件、设备参数及作用、典型装置的操作运行、常见事故及处理，实习总结等内容。

实习报告由学生独立完成，要求条理清晰，体现出内容的完整性、数据的准确性，一定要从专业的角度总结实习的收获与体会，要对生产流程、操作控制、技术管理等的先进性、合理性以及存在的问题提出自己的见解，力求认识水平再上台阶，工程能力得到确实提高，为今后走上工作岗位，进行工程设计、技术创新和科学研究奠定良好的基础。

八、实习教材及主要参考书

无

九、其他需要说明的内容

无

执笔人：吕俊文 **系室审核人：**

16. 《建筑环境与设备工程毕业实习》实践教学大纲

Graduation Practicing

课程编号： 0807040080102

学时： 32 **学分：** 2

适用对象： 建筑环境与设备工程专业四年级本科生

先修课程： 电工电子技术、工程热力学、流体力学、建筑环境学、安装技术、暖通空调、冷热源工程等

一、本实习的性质与任务

毕业实习是建筑环境与设备工程专业一个重要的实践教学环节，也是毕业设计教学的重要组成部分。

通过毕业实习，学生可以广泛接触实际、开阔视野、增强感性认识、充实专业实践知识，并收集本专业的技术资料，了解本专业的发展动态，为更好地完成后续毕业设计打下基础，将四年所学的专业知识通过毕业设计和毕业实习这一条主线串起来，学生的头脑中建立了专业组成系统、整体和立体的知识架构。

更重要的是能结合为每个毕业学生量身定制的毕业设计的题目，搞清设计的对象特点及工程实际应用情况，启发和指导学生的毕业设计思路。

二、实习的目的与要求

毕业实习由熟悉实际设计工程相关内容、类似设计工程的实习参观和设计讲座三部分组成。各部分进行的方式及内容如下：

(1) 实际设计工程相关内容的熟悉

毕业设计指导老师针和学生依托实际工程共同拟定毕业设计题目，根据建筑图纸，确定设计地点，设计地点的能源政策，同相关专业如何协调，查找同类型建筑的空调设计图纸和相关设计手册、规范和资料。

(2) 类似设计工程的施工现场、运行管理系统参观

通过毕业实习，让学生了解工程设计的最终作品，参观实习与毕业设计题目相似的建筑空调、节能等状况，工业及民用建筑空调的特点与应用情况，空调系统的施工安装（与建筑、结构、水、电之间的配合等）。了解不同类型工厂和建筑类型对暖通专业的要求、专业设备运行概况和专业设备的发展动态。参观的工程应按学生所选工程设计方向侧重安排。

（3）设计讲座

聘请设计院和施工单位的高级工程师给学生集中讲解专业设计规范、初步设计、施工图设计的设计过程，让本专业学生的毕业设计达到施工图设计水准。

三、实习组织方式和实习地点

参观实习：集中组织和自联相结合的方式，集中组织由专业老师带队到广州实习，主要单位有：冰泉制冰有限公司、广州大金有限公司、白云机场、广州从化度假村等。

自联的单位是学生的设计题目是来自实际工程，毕业设计是采用校、单位双方指导的方式，设计题目直接与空调设计、施工、运行管理单位对接，经过学生自联单位发接受实习函的到学校的毕业实习方式。

四、实习时间安排

毕业实习是在毕业设计进行了一个月后进行的，一般是每年的3月至4月，时长一个月。

五、实习的内容与要求

5.1 内容：

参观实习：参观广州具有典型功能的中央空调系统（如白云机场），通过设备安装公司的安装实习，了解各类风管的剪、折、弯等加工设备的使用方法，了解风管、水管的保温层的制作及管路系统的安装；现场拆、装风机盘管、各类风口等末端设备（条件合适时配合进行大型组合式空调机组的安装），认识调节阀等控制部件，进一步熟悉中央空调系统的原理、设备和安装（如冰泉有限公司、大金空调设备公司）。

设计讲座：请“衡阳三力高科技开发公司、衡阳建筑设计院”的专业高级工程师进校园给毕业班的学生集中授课。

5.2 要求：

- （1）遵守社会主义精神文明和道德规范
- （2）尊重实习单位、指导人和教师的安排指导，虚心好学，对重大问题未经指导人同意，不得擅自处理；
- （3）遵守实习单位的一切规章制度和劳动纪律，不得无故缺席，迟到和早退，实习期间一般不准事假，病假要有医生证明；
- （4）实习期间要特别注意安全，严格遵守安全操作制度，不乱拉开关、闸门，不乱动各种机械设备，防止各类事故发生。如发生事故，必须马上报告；
- （5）自联单位要指定单位的第二指导老师，并且必须具备高级工程师职称，所选方向与专业要求类似。

六、考核方式及成绩评定：

实习结束后，由带队实习老师，根据学生实习的表现，独立工作能力，遵守纪律和各项规章制度等情况。由出勤次数+平时实践+实习报告成绩的总和确定。

七、实习报告的内容与要求

字数不少于 3000 字，

实习结束后，学生应及时总结，写出实习报告。其内容包括：

- (1) 实习概况（实习时间、地点、单位、项目的概述等）；
- (2) 主要实习内容，参观的内容；
- (3) 实习和参观的收获体会；
- (4) 发现的问题和改进意见；
- (5) 其它。

实习报告是评定学生实习成绩的重要依据之一，它不但反映学生实习的深度和质量，而且反映学生分析和归纳问题的能力。实习报告应科学系统，图文并茂，简明工整。

八、实习教材及主要参考书

无

九、其他需要说明的内容

无

执笔人：刘源全 系室审核人：罗清海

17. 《给水排水专业毕业设计 1、2》实践教学大纲

Graduation Thesis Design

课程编号：0807050070112、0807050070222

学时：16 周 学分：16

适用对象：给水排水专业或给水排水工程作为第二专业的学生

一、毕业设计（论文）的性质与任务

毕业设计(论文)是学生在教师指导下独立地进行工作,解决实际工程问题的一个重要的综合性实践环节。毕业设计(论文)也是保证给水排水工程专业人才培养目标实现的最重要的环节。通过工程设计或专题研究的形式,使学生能综合应用并进一步深化所学专业理论知识,培养学生分析和解决实际问题的能力、形象思维和动手能力,使学生受到工程师的基本训练,培养踏实、严谨的工作作风。培养学生综合运用所学的知识(基础课、技术基础课、专业方向课等方面的知识)、分析和解决给水排水领域的工程技术问题的能力。

二、毕业设计（论文）的目的与要求

1. 培养学生综合运用所学的知识(基础课、技术基础课、专业方向课等方面的知识)、分析和解决给水排水领域的工程技术问题的能力。

2. 进一步加深和扩展所学的基础知识、专业知识,提高实验动手能力、分析和独立工作的能力,提高计算机应用和解决工程实际问题的能力。

3. 使学生受到工程师的基础训练,培养其开展工程设计和科学研究工作的初步能力。包括:

- ◇ 调查研究、文献检索和搜集资料能力;
- ◇ 方案技术经济比较、论证,确定方案的能力; 工程技术与经济指标的综合能力;
- ◇ 理论分析、设计和计算的能力;
- ◇ 计算机绘图的能力;
- ◇ 实验研究方案、实验装置的制作、安装、调试、分析的能力;
- ◇ 撰写科技论文及设计说明书的能力;
- ◇ 协同合作及组织工作的能力。

4. 培养学生的团队精神、创新精神; 树立正确的人生观、价值观,在思想政治素质方面得到进一步的提高。

三、指导教师的确定

1. 在第 7 学期毕业设计开始前,举行毕业设计动员会,公布毕业设计的指导教师名单及各指导教师的业务专长概况,由学生来报名选定指导教师。

2. 指导教师一般由讲师以上的教师担任,必要时亦可聘请有经验的工程师担任,指导教师由教研室安排。

四、毕业设计(论文)的选题及要求

设计论文的选题:一人一题,基本参数均不相同。每人都有毕业设计任务书和要求,每人独立完成。首先进行方案的确定,然后进行设计的计算,最后进行图纸的绘制。

基本要求:

1. 题目应尽量结合工程实际,尽可能从实际工程项目中选取。
2. 题目的难易程度和分量要适当,使学生在规定时间内工作量饱满。着重于工程师基本训练和分析问题、解决问题能力的培养。
3. 题目在技术上应比较成熟,且能达到全面训练学生的目的。
4. 题目由指导教师提出,经毕业设计指导小组讨论通过,教研室主任签字后于毕业设计前发给学生。
5. 在下达毕业设计(论文)任务书时,必须明确每个学生的工作任务。题目每人一题。其工作量要适度,在有效的毕业设计期间,经过努力可以完成。

五、毕业设计(论文)的内容和工作量

1. 学生应具有较好的外语应用能力,在毕业设计阶段,学生应完成一篇与毕业设计或专业内容相关的外文文献的翻译,一般要求中文字数不低于 5000 字。

2. 毕业设计说明书、计算书或论文要求内容系统完整,计算正确,论述简洁明了,文理通顺,文档格式规范。设计说明书、计算书或论文应包括目录、前言、正文、小结及参考文献等部分。学生应采用英语编写设计(论文)摘要,摘要要求在 400 字左右。

3. 毕业设计图纸应能较好地表达设计意图;图面应布局合理、线条清晰;符合给水排水工程制图标准及有关规定要求,其中至少应有一张图纸基本达到施工图深度。学生应能够熟练应用计算机绘图。毕业设计图纸数量不少于 6 张,至少应包括一张手绘图。

4. 毕业设计的工作量及图纸的要求详见《南华大学本科生毕业设计(论文)的规定和撰写规范》。建筑给水排水工程设计的设计计算说明书一般不应少于 40 页(含计算图、表),其他方向的设计设计计算说明书一般不应少于 80 页。

六、毕业设计(论文)的时间安排

毕业设计时间为 16 周,集中完成。

七、毕业设计(论文)的过程管理

毕业设计(论文)指导实行指导教师负责制,指导教师对学生的毕业设计(论文)全面负责,因材施教,教书育人。指导教师应保证足够的答疑、辅导时间。

八、毕业设计(论文)的答辩:

九、毕业设计（论文）的成绩评定

学生在完成毕业设计全部任务后，由指导教师和学科相关专家根据“南华大学大学本科生毕业论文（设计）评分标准”进行严肃、认真地评阅，并按要求给出相应的评分和综合评语。答辩工作由学院答辩委员会（下设答辩小组）主持进行。答辩结束后，由答辩委员会参考指导教师评阅、专家评阅情况，结合答辩情况综合评定毕业论文（设计）成绩。成绩按五个等级评定：优、良、中、及格、不及格。

十、其他需要说明的内容

执笔人：刘金香

系室审核人：王劲松 何少华

18. 《环境工程专业毕业设计》实践教学大纲

Graduation Project for Environmental Engineering

课程编号：0810010130112

学时：14 周 学分：14

适用对象：环境工程专业本科四年级学生

一、毕业设计（论文）的性质与任务

毕业设计（论文）是环境工程毕业班学生的最后一个学习环节，目的是使学生充分利用所学专业基础知识，熟悉本专业工作内容，通过查阅专业资料，解决本专业技术问题，进行流程优化选择，确定处理方案，确定适宜参数，进行优化设计。毕业设计是学生走向社会独立解决工程问题的一次演习，通过毕业设计使学生初步掌握解决工程实际问题的能力。让学生在毕业设计中获得宝贵的实践经验和本领，从而为走向社会奠定坚实的工作基础。

二、毕业设计（论文）的目的与要求

环境工程专业毕业设计（论文）是为大学生在校期间安排的最后一次系统、全面和综合性的实践教学环节。它既是对学生在校期间所学专业基础知识和基本技能的复习、巩固和提高，又是将所学基础知识、专业知识和相关知识综合运用，解决实际问题的一个尝试，是培养学生初步独立分析和解决实际问题的一个重要过程，也是大学生完成本科学习，走向工作岗位的一次实战演习。通过毕业设计（论文），将使学生全面提高综合运用知识的能力和独立工作的能力。

毕业设计（论文）的主要目的有以下几个方面：

（1）通过毕业设计（论文）的训练，使学生进一步巩固加强所学的基础理论、基本技能和专业知识，使之系统化、综合化。

（2）在毕业设计（论文）中着重培养学生独立工作、独立思考并运用所学知识解决实际工程技术问题的能力，结合课题的需要更应注意培养学生独立的创新能力。

（3）通过毕业设计（论文）加强对学生计算、绘图、实验方法、数据处理、编辑设计文件、使用规范化手册、撰写学术论文的规范要求等最基本的工作实践能力的培养。

（4）通过毕业设计（论文）的训练，使学生树立起具有符合国情和生产实际的正确的设计思想和观点，树立起严谨、负责、实事求是、创新钻研、勇于探索、团结协作的工作作风。

三、指导教师的确定

毕业设计(论文)教学实行指导教师负责制。每个指导教师应对整个毕业设计(论文)阶段

的教学活动全面负责。指导教师在设计（论文）阶段始终起着重要作用。充分发挥指导教师的作用是提高设计（论文）质量的关键。

指导教师的确定按如下要求执行：

（1）应当由学术水平较高且有较丰富的实践经验的教师或工程技术人员担任。一般应由讲师或工程师职称及以上的人员担任。初级职称的人员一般不单独指导设计(论文)，可协助指导教师工作。为保证设计（论文）指导质量，原则上正高职称教师指导不多于10名学生，副高职称教师指导不多于8名学生，中级职称教师指导不多于6名学生。个别专业如因特殊原因超过此标准，应经学院主管院长审核，报教务处批准方可执行。

（2）指导工程设计的教师，应有良好的工程素质和工程设计经验，明确的工程概念，强烈的技术兴趣，熟练的工程方法，丰富的技术知识。这样才能在新技术层出不穷的现代，适应工程技术高度发达的客观要求，才能指导学生获得并掌握工程知识。

（3）聘请理论水平高、实际经验丰富的生产科研部门的专家或技术人员参加设计(论文)的指导工作，促使设计和研究工作与实际生产科研更紧密地结合。但要有学校的专业教师参加联系和指导，以便掌握教学要求和设计(论文)进度，保证设计(论文)质量。

四、设计（论文）的选题及要求

1、选题的基本原则

设计(论文)题目选择应满足专业人才培养目标要求，达到设计（论文）教学大纲的要求。要有利于巩固、深化和扩大学生所学的知识，使学生在设计（论文）工作过程中得到科学研究（设计）能力的基本训练。

确定题目尽可能与工程实际、毕业实习、科研课题和实验研究相结合，并适应学科发展趋势。论文类题目应具有一定的理论和现实意义，真题真做，有一定的学术价值。

文献综述类题目一般不能作设计(论文)题目。

指导教师确定的题目，要有计划的更新。课题经系、院教学督导组 and 学院设计（论文）领导小组审核，确认其符合要求且具有实施条件。已经批准的题目不得随意更改，更换题目必须经相应审批程序方可生效。

课题的难度和工作量要合适，应在教学计划规定时间内，使学生在教师指导下，经过努力能够完成。

2、课题来源及要求

设计（论文）课题的来源：

（1）指导教师根据科研项目、工程设计任务或新产品的开发研制等课题，从中选出适合学生情况和教学要求的部分。

（2）指导教师为了使达到教学基本要求，受到综合训练，可以采取假题真做拟定题目。

（3）学校鼓励学生参加指导教师的科研课题，并作为自己的设计（论文）题目。学校鼓励学生到生产（毕业）实习单位或自己联系的工作单位进行设计（论文）工作，

紧密结合单位实际科研课题，在校外指导教师的指导下，完成自己的毕业设计（论文）任务。

（4）学生在科学活动中自立的研究课题。

课题分配的原则与方法是：双向选择与教师分配相结合。

课题分配坚持一人一题的重要原则，如果几位学生共同参加的项目，必须明确每位学生应独立完成各自承担的部分，以保证每人都受到较全面的训练，又具有各自的特点。对综合训练不够的实际课题，指导教师应做适当增补，使其满足教学要求。

五、毕业设计（论文）的内容和工作量

（1）工程设计类：学生必须独立完成一定数量的工程图及设计计算说明书，参考文献不低于10篇，其中外文文献要在2篇以上。绘图是工程设计的基本训练，图纸应符合制图标准，图纸规格、线型、字体、符号、图例和其它表达要符合基本要求。

（2）学术论文类：对该类课题中的理论研究类一般不提倡。学生要独立完成一个完整的实验，取得足够的实验数据，实验要有探索性，而不是简单重复已有的工作。毕业论文字数要达到15000~20000字，参考文献不低于15篇，其中外文文献要在4篇以上。

六、毕业设计（论文）的时间安排

毕业设计（论文）的工作时间是从第七学期开始，到第八学期结束，总时间为14周。

七、毕业设计（论文）的过程管理

毕业论文（设计）期间，学生非常紧张而又有较大的自由度，为保证毕业论文（设计）的质量，除要求教师、学生执行学校的有关规定外，还要求：

（1）学生接到任务书后，在3~4周内要完成并向指导教师提交开题报告，指导教师要及时批阅开题报告并提出指导意见。

（2）在毕业设计（论文）进行至7~8周时，对每个学生逐一进行中期检查。对不合格者出示黄牌警告，对指导不利的教师给予批评，以确保论文（设计）任务的按时完成。

（3）在毕业答辩前1~2周，进行预答辩，以督促学生按时完成毕业设计（论文）并确定推迟答辩名单。

（4）指导教师除经常辅导、答疑和了解情况外，要定期按进度计划对学生的毕业设计（论文）工作进行检查，实事求是地在《南华大学毕业设计（论文）工作检查记录本》上记录检查情况。

（5）学生在独立完成毕业设计（论文）的过程中，要如实做好工作记录，填写南华大学毕业设计（论文）工作记录本。

八、毕业设计（论文）的答辩：

环境工程专业毕业设计（论文）答辩采取校级公开答辩、院级公开答辩和小组答辩三种形式。

1、答辩委员会的组成

毕业答辩工作由校级答辩委员会和各学院毕业答辩委员会主持。校级答辩委员会由教学副校长及相关专家组成，院级答辩委员会由学院领导及专家5~7人组成，设主任委员、副主任委员和秘书1人。答辩委员会可决定组成若干答辩小组具体负责答辩工作。答辩委员会委员及答辩小组成员必须是讲师以上(或相当职称的科技人员)的人员担任。

2、答辩委员会的主要职能

- (1) 指定毕业设计（论文）的评阅人。
- (2) 学生毕业答辩资格的审查。
- (3) 主持并组织毕业答辩工作。
- (4) 讨论和确定学生毕业设计(论文)的最后成绩及评语。

3、答辩工作程序和要求

(1) 根据学生的毕业设计(论文)任务书、外文翻译、毕业设计(论文)正稿和设计图纸，指导教师和评阅教师评阅意见，答辩委员会对学生进行答辩资格审查。

(2) 答辩会，先由学生介绍毕业设计（论文），时间一般为10min左右。然后学生回答评委提出的问题，时间一般为15min。

(3) 答辩委员会或答辩小组依据评分标准，确定每个学生毕业设计(论文)的评语和成绩。

(4) 要求指导教师和毕业生必须参加答辩会，答辩评委对学生的答辩进行点评。

九、毕业设计（论文）的成绩评定

环境工程毕业设计（论文）总成绩由两部分构成：指导教师评分、答辩教师评分分别占60%、40%。但是，若答辩不合格，应视作毕业设计（论文）不及格。

指导教师、答辩教师和答辩委员会委员在评定学生毕业设计(论文)的成绩时应该公平、公正、公开。特别要注意学生独立进行工程技术工作的能力及科学态度和作风。

毕业设计(论文)的成绩一般分为优秀、良好、中等、及格和不及格五个等级。

毕业设计成绩最后由学院毕业设计（论文）领导小组审定，优秀控制在15%以内，优良率控制在40%以内。

十、其他需要说明的内容

无

执笔人：刘迎云 **系室审核人：**吕俊文

19. 《建筑环境与设备工程专业毕业设计》实践教学大纲

Graduation Design (Thesis)

课程编号： 0807040070112, 0807040070222

学时： 15 周 **学分：** 14.0

适用对象： 建筑环境与设备工程专业四年级本科生

一 前言

毕业设计（论文）是培养学生综合运用所学知识与技能解决具有一定复杂程度的工程实际问题的综合性工程实际训练或课题研究训练；是学生综合素质与培养效果的全面检验；是学生毕业及学位资格认证的重要依据；也是专业教学质量的综合反映。

为促进学生掌握本专业的理论和技能，具备建筑环境与设备工程的设计能力和综合利用相关专业知识的能力；培养科研基本素养，初步具备专业范围内课题研究的课题调研、文献综合、实验探索、判断分析能力，本专业教学计划在完成全部理论教学和其他实践环节的同时，安排毕业设计（论文）15周。

二 目的要求

毕业设计（论文）是高等学校教学计划中的重要组成部分，是学生在修完教学计划规定的全部课程后所必须进行的综合性实践教学环节。毕业设计（论文）的基本目的和要求在于：

(1) 通过毕业设计（论文），使学生进一步巩固加深所学的基础理论、基本技能和专业知识，使之系统化、综合化；

(2) 在毕业设计（论文）过程中着重培养学生独立工作、独立思考并运用已学的知识解决实际问题的能力，同时培养学生独立获取新知识的能力；

(3) 通过毕业设计（论文）加强对学生野外调查、资料获取、实验方法、数据资料的综合处理、计算机应用等最基本的工作实践和科研能力的培养；

(4) 通过毕业设计（论文）的训练，使学生树立起具有符合国情和生产实际的正确的思想和观点，树立起严谨、负责、实事求是、刻苦钻研、勇于探索并具有创新意识及与他人合作的工作作风；

(5) 毕业设计计算说明书必须符合规范，做到内容完整、计算准确、论述简洁、论据充分、层次清晰、文理通顺、装订整齐，且不少于 20000 字；毕业论文撰写要符合相关规范要求，篇幅不少于 30000 字。

(6) 毕业设计图纸应能较好地表达设计意图，图面布局合理、正确清晰、符合制图标准

及有关规定。

(7) 毕业论文选题要有一定实际意义，工作量充分，研究方案现实可行，数据真实可信，逻辑清晰，论点明确，论证比较严密，论据比较充分，分析比较透彻，行文流畅，语言规范。

三 毕业设计（论文）内容

（一）基本要求

要求学生在指导教师的指导下，独立完成所承担的研究课题的全部内容，并且做到：

- (1) 初步掌握设计原则、设计方法、设计步骤和技术规范的应用；
- (2) 收集和查询有关技术资料；
- (3) 对研究设计方案进行选择和分析；
- (4) 按规定绘制相关图纸；
- (5) 撰写毕业设计（论文）；
- (6) 必须参加毕业设计（论文）答辩。

（二）毕业设计（论文）内容

毕业设计（论文）即可以全面检查学生基础理论掌握程度、技能熟练程度及分析和解决问题的能力，又能培养学生的工程实践能力。毕业设计（论文）教学环节包括以下教学环节：

1. 毕业设计（论文）的选题。

(1) 毕业设计（论文）选题在满足学生综合运用专业理论知识的基础上，应重视工程设计、课题研究基本技能的训练；

(2) 毕业设计（论文）题目可模拟实际工程设计项目，也可结合指导老师的科研课题选择研究课题；

(3) 选题的难易程度要适当，以学生在规定时间内经努力可以完成为宜；

(4) 原则上一人一题；若多人同做一个课题，则基本设计（或课题研究）内容每位同学均要完成，但内容应各有侧重，可列若干小标题。

(5) 毕业设计（论文）题目应与专业密切相关。每个学生必须较全面地解决工程设计和课题研究的相关问题，其深度根据教学要求和毕业设计（论文）任务书的具体规定执行。选题的基本类型为建筑环境与设备工程项目、相关的技术论文等，或者结合指导老师的科研方向和在研课题选择毕业研究课题。

2. 向学生下达任务书。

编写毕业设计（论文）指导书、任务书，向学生宣布毕业设计（论文）要求及其管理规定，下达任务书，阐述毕业设计（论文）课题的目的、性质、内容和要求，做好学生的思想动员工作。

3. 查阅文献，收集资料。

学生在题目与任务以后，首先要利用各种途径着手查找与毕业设计（论文）相关的专业文献和资料，文献资料查阅不得少于 40 篇，其中外文文献不得少于 10 篇。要认真阅读这些

文献和资料，从中了解前人对该课题的研究成果、最新发现和当前研究的重点，或从中查询设计项目、课题研究所需的各种数据与信息，在此基础上形成自己的想法。

4. 做好开题报告。

指导教师指导学生写好开题报告（或开题综述）。内容包括：文献综述、方案的比选、设计（论文）的思路、进程安排、所需的仪器与设备等。

5. 设计（论文）方案论证阶段。

这段工作是毕业设计（论文）的重要工作。学生在了解课题后，首先拟出解决课题（研究论文或工程设计）的若干方案，并对其进行分析比较，指出各方案的优缺点，提出方案实施的可能性，最后确定可实施的方案，完成设计（论文）的提纲。

6. 设计计算及撰写设计说明或撰写论文阶段。

在完成了设计（论文）方案论证后，按照毕业设计（论文）进程表的要求学生逐步完成工程的计算、设计、绘图（含计算机绘图和手工绘图）、实验、调研以及初稿的编写等工作，毕业设计（论文）的格式必须符合《南华大学毕业设计（论文）撰写规范标准》，完成后提交指导教师审阅、指导，再返回学生进行修改，达到相关标准后形成毕业设计（论文）的最终成果。

在此期间，指导教师应做好指导工作，定期检查学生毕业设计（论文）的工作质量与进度，及时进行答疑并处理学生所遇到的问题，对于学生所存在的普遍问题应择定时间进行统一的讲解和辅导。

7. 毕业答辩。

学生完成的毕业设计（论文）交由指导教师评阅，写出评语和评分后交答辩小组资格审查。答辩小组组织对审查合格的毕业设计（论文）分组进行公开答辩。

四、毕业设计（论文）教学环节和时间分配

序号	教学环节	主要内容	应达到的能力标准	学时分配
1	查阅文献，收集资料	根据毕业设计（论文）选题 查阅文献、资料	能利用各种途径查阅专业资料	1周
2	开题报告或文献综述	撰写开题报告（或综述）	学会撰写开题报告（或文献综述）	1周
3	工程设计或课题研究方案	拟订毕业设计（论文）选题 具体实施方案	能根据文献资料和初步研究 确定工程设计方案或撰写论文的提纲	2周

4	工程设计计算，或课题实验、调研等	按拟订的设计（论文）方案实施	运用所学的基础理论知识和专业知识分析和解决工程设计问题，或者课题实验、调研、分析、模拟中遇到的问题	4周
5	撰写论文或计算说明，绘制设计图纸等	根据研究分析进行资料整理，论文写作或根据设计计算编写说明、绘图等	能熟练编写计算说明及图纸绘制等，按照规范撰写论文	6周
6	毕业设计（论文）答辩	陈述设计（论文）成果；回答问题	能阐述自己观点，并回答答辩老师、现场同学的提问	0.5周
7	毕业设计（论文）教学总结	成绩评定，资料归档		0.5周
	总计			15周

五、答辩及成绩评定

1. 答辩委员会

答辩委员会由5名以上讲师以上职称的教师组成，全面负责答辩与评分工作。答辩委员会下设若干个答辩小组，答辩小组由3—5名讲师以上职称的教师组成，设组长1人，具体负责答辩工作。答辩委员会及答辩小组在答辩前，应认真审阅学生的毕业设计（论文），以便在答辩中有针对性地提出问题。

2. 答辩资格审查

学生必须按计划完成毕业设计（论文），经指导教师审查通过、签字，并且在毕业设计（论文）结题验收时为合格者方可获得参加答辩资格。学生必须在答辩前2天，将毕业设计（论文）交给答辩小组，答辩小组将毕业设计（论文）转给评阅教师评阅，评阅教师写出评语。

3. 毕业设计（论文）答辩

毕业设计（论文）审查通过后，由答辩小组主持答辩，以公开方式进行。

（1）答辩中，学生须用PPT报告自己毕业设计（论文）的主要内容，时间为10~15分钟，并回答答辩小组成员四个以上问题的提问。每个学生回答问题的时间约10~15分钟。答辩过程中，应做好记录，供评定成绩时参考。

（2）答辩结束，答辩小组应为每位学生写出不少于100字的评语，并结合毕业设计（论文）的评阅情况给出等级评定。对于评定成绩有异议的学生，由答辩委员会做出处理。

4. 成绩评定

（1）毕业设计（论文）的成绩由指导教师评分、评阅教师评分、毕业论文答辩评分三部分组成。三项之和为总成绩。三部分评分的权重为：指导教师（50%）、评阅教师（20%）

毕业答辩（30%）。

（2）毕业设计（论文）的评分按优秀（90分以上）、良好（80-89分）、中等（70-79分）、及格（60-69分）、不及格（59分以下）五个等级评定成绩。优秀、良好的学生不得超过答辩学生总数的30%。

（3）评分参照以下标准：

①选题内容完成情况以及工作量多少。（40分）

②毕业设计（论文）是否符合所规定的毕业设计（论文）要求，描述是否清楚，文字的表达能力如何。（25分）

③通过做毕业设计（论文）的实践所反映的能力培养情况（包括独立思考能力、分析和解决问题能力、自学能力、动手能力等）（25分）

④对学过知识的掌握情况，对新技术的了解情况，对作论文全过程的熟悉情况以及对毕业设计（论文）的态度。（10分）

六、注意问题

毕业设计（论文）期间，学生非常紧张而又具有较大的自由度，为保证毕业设计（论文）的质量，除要求教师、学生执行学校的有关规定与规范外，还要求：

（1）加强过程管理，提高学生自觉性、独立性和协作性。自觉性主要表现在要主动、积极，要遵守各项纪律；独立性要求同学独立思考，独立解决问题，不依赖教师，不依赖教材；同时鼓励同组同学之间要注意协作配合，互帮互学、共同进步。

（2）指导教师必须具有讲师以上职称或具有硕士、博士学位，并经院（系）领导批准的教师、科研人员、工程技术人员或管理人员担任，每名教师指导的学生数量不超过学校相关文件规定。

（3）毕业设计（论文）的教学管理以小组为单位，每小组设学术带头人一名，负责本小组毕业设计（论文）的教学管理督导工作；实行团队指导为辅，个别指导为主。

（4）教师每周至少指导二次，及时指出设计中存在的问题，纠正设计中的错误；学生在设计期间，要认真填写工作日志，及时总结。

（5）应切实注意工程设计的正确、规范，学会使用规范、手册及各种参考图集，尽可能少依赖教材。

（6）设计（论文）开始时，教师要向学生提供详细的设计任务书，及初步的时间安排；学生接到任务书后，在第2-3周期间要向指导教师做结题报告，说明对题目的理解、承担的工作任务、自己的工作计划、要求、希望等；进行到第7-8周时，要进行中期检查，检查的内容包括：设计（论文）的内容与题目是否一致，是否按计划完成规定的工作，工作任务完成情况、后续工作的安排等；在答辩前一周，要组织结题检查，首先由指导教师审查毕业设计（论文），然后教研室指导教师互审，对软件类题目要进行程序演示等。

七、参考书籍

陈超 主编，课程设计·毕业设计指南，中国建筑工业出版社，2006.11

杨昌智，刘光大，李念平 编，暖通空调工程设计方法与系统分析，中国建筑工业出版社，2001.7

邢彦辰 赵满华 主编，毕业论文写作与文献检索，北京邮电大学出版社，2010.3 暖通工程设计相关标准、规范。

执笔人：罗清海 **系室审核人：**宁勇飞